

**DANMARKS METEOROLOGISKE  
INSTITUT**

**— TEKNISK RAPPORT —**

**01-14**

**Verifikation af vandstandsprognoser:  
2000**

**Jacob Woge Nielsen**



**København 2001**

**ISSN 0906-897X (trykt)**  
**ISSN 1399-1388 (online)**

# **Verifikation af vandstandsprognoser 2000**

**Jacob Woge Nielsen**  
**e-mail: [jw@dmi.dk](mailto:jw@dmi.dk)**

**Danmarks Meteorologiske Institut, København, Danmark**

# Indhold

<b>1</b>	<b>Introduktion</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Stormflodsvarslingssystemet</b>	<b>4</b>
2.1	DKSS98	4
2.2	Revision af DKSS98	6
<b>3</b>	<b>Verifikationsdata</b>	<b>7</b>
3.1	Observationer	7
3.1.1	Datadækning	9
3.1.2	Ekstremvandstand	9
3.2	Prognoser	10
3.2.1	Datadækning	10
3.2.2	Postprocessering	10
3.2.3	Astronomisk tidevand	11
3.2.4	Nulpunktskorrektion	11
3.2.5	Filtrering	11
<b>4</b>	<b>Fejlmål</b>	<b>12</b>
4.1	Residual	12
4.2	Spidsfejl	13
4.3	Succesrater	13
<b>5</b>	<b>Resultater</b>	<b>14</b>
5.1	Hyppighedsfordeling og nøgletal	15
5.2	Succesrater	17
5.3	Middelfejl (ME)	18
5.4	Middel absolutfejl (MAE)	19
5.5	RMS fejl	20
5.6	Maksimal fejl (MAX)	21
5.7	Forklaret varians (EV)	22
5.8	Middel spidsfejl (MPE)	23
5.9	Middel absolut spidsfejl (MAPE)	24
5.10	Maksimal spidsfejl (MXPE)	25
5.11	Spidsfejl ved varslingsstationerne	26
<b>6</b>	<b>Sammenligning med forudgående år</b>	<b>37</b>
<b>7</b>	<b>Konklusion</b>	<b>39</b>
<b>8</b>	<b>Appendix A - datadækning</b>	<b>40</b>
<b>9</b>	<b>Appendix B - ekstremvandstand</b>	<b>41</b>
<b>10</b>	<b>Appendix C - nulpunktskorrektioner</b>	<b>42</b>

# 1 Introduktion

I denne rapport verificeres DMIs operationelle vandstandsprognoser for år 2000. Prognoserne, der løbende offentliggøres på DMIs Internetside <http://www.dmi.dk/vejr> under *Vandstande*, er beregnet med DMIs stormflodsvarslingssystem *DKSS98*.

Prognoser gældende for 12 timers tidsvinduet +06 timer til +18 timer fra analysen sammenlignes med den observerede vandstand ved en række danske kyststationer. Der beregnes årlige standard statistiske fejlmål for hver station, midlet over prognoselængden. Nøgletal beregnes ved at midle over samtlige danske stationer. Prognoser for ekstreme højvande (stormfloder) undersøges særskilt, og der beregnes en succesrate til brug for DMIs resultatkontrakt.

Stormflodsvarslingssystemet *DKSS98* (kalibreret på kalenderåret 1998) har været i brug siden 1. september 1999, hvor det afløste det hidtidige *DKSS90*. Systemet blev recalibreret og revideret i løbet af sommeren 2000, og den reviderede version blev taget i brug medio oktober 2000. Kernen i systemet udgøres af havmodellen *Mike21*, som er udviklet af DHI - Institut for Vand og Miljø (DHI) og venligst stillet til rådighed til brug for DMIs stormflodsvarsling.

I det følgende beskrives det operationelle stormflodsvarslingssystem (kap. 2), datagrundlaget i form af vandstandsobservationer og prognoser (kap. 3), og de statistiske fejlmål der bliver anvendt til at vurdere prognosernes kvalitet (kap. 4). Resultatet af verifikationen for år 2000 beskrives i detaljer (kap. 5), og der sammenlignes med foregående år (kap. 6). Kap. 7 er en konklusion. Referencer, angivet i teksten med [ ], samt lister over figurer og tabeller findes bagest i rapporten sammen med Appendices.

Rapporten indgår i en serie af DMI rapporter om stormflodsverifikation, hvoraf den første omhandlede vintersæsonen 1993-94. Der udsendes i særlige tilfælde også rapporter over de enkelte stormfloder (se referencelisten bagest i rapporten). Tidlige rapporter er udfærdiget på engelsk, men fra og med 1999 sker afrapporteringen på dansk.

## 2 Stormflodsvarslingsystemet

DMIs operationelle stormflodsvarslingsystem DKSS98 har været anvendt siden 1. september 1999, hvor det på grund af år 2000-skiftet afløste det tidligere DKSS90. Systemet måtte revideres grundigt allerede i løbet af sommeren 2000, og den reviderede version blev taget i brug medio oktober 2000.

### 2.1 DKSS98

DKSS98 består af tre komponenter:

- en dybdeintegreret hydrodynamisk (*HD*) model
- en numerisk vejrmodel
- information om tidevandet i Nordatlanten

koblet sammen til et enkelt system, der afvikles efter en forud planlagt skedulering.

#### *HD modellen*

Den hydrodynamiske model *Mike21* er udviklet af DHI (dokumentation i [1]) og stillet til rådighed for DMI til operationel brug. Modellen løser de dybdeintegrerede ligninger for havets strømning under indflydelse af vind, lufttryk og tidevand, og de deraf følgende vandstandsstigninger og -sænkninger. En vigtig egenskab ved modellen er den s.k. *nesting* (se nedenfor), hvor flere beregningsnet er lagt inde i hinanden. På denne måde kan man anvende finere beregningsnet lokalt, hvilket er af stor betydning i Vadehavet og Bælthavet. DKSS98 modelområdet består af i alt 4 beregningsnet (fig. 1) i UTM-32 projektion. Det groveste net dækker hele Nordsø-Østersø området med en maskevde på 16668 m (9 sømil), og herefter øges opløsningen med en faktor 3 for hvert nyt net, således at Vadehavet og Bælthavet begge beskrives med en opløsning på 1852 m (1 sømil). Dybdekortene er etableret som led i det EU-finansierede DYNOCOS projekt hvor basis er et 1 sømile net. Modellens friktionsparametre er kalibreret ved at køre hele 1998 i hindcast mode. For yderligere detaljer om kalibreringen og opsætningen henvises til [9].

#### *Vejrmodellen*

Vejrmodellen er DMIs limited area prognosemodel Hirlam-E (HIR), som anvendes til vejrudsigter for Danmark [20]. Løbende ændringer, der foretages i den operationelle Hirlam, bliver umiddelbart anvendt i stormflodsvarslingen. Et parallelt back-up system anvender i stedet prognoser fra den engelske vejrmodel UK-lam (UKM). Den atmosfæriske drivkraft består af prognoser for trykket i havoverfladens niveau (mslp) og vinden i 10m højde (U10). Vind og tryk interpoleres til 9 sømile nettet, og 10m vinden omregnes til overfladestress ved brug af en vindhastighedsafhængig vindfriktionsparameter [21], [9], se dog nedenfor.

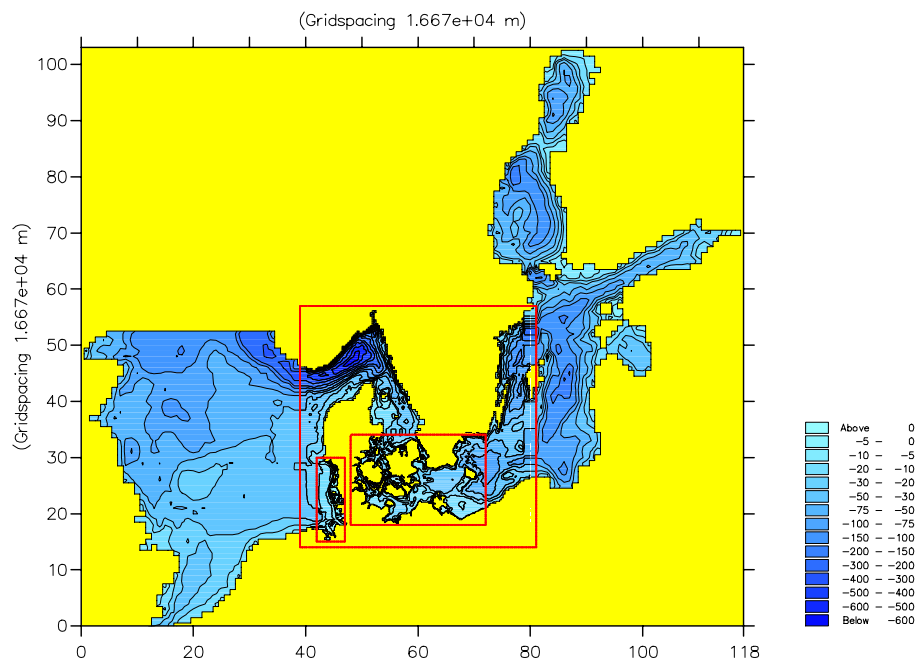
Hirlam-E har en tidslig/rumlig opløsning på 1 time/16 km, mens den mere grovmaskede UK-lam har en tidslig/rumlig opløsning på 6 timer/1.25<sup>o1</sup>. Back-up systemet giver generelt farvandsvagten ekstra information, og kan forfremmes til primær prognose i tilfælde af at Hirlam-E prognosen er forsinket, eller blot anses for at være mindre god (se nedenfor). Begge opsætninger er fuldt operationelle, og bliver verificeret og sammenlignet i denne rapport.

#### *Tidevandet*

Tidevandet fra Atlanterhavet foreskrives ved modellens afgrænsning mod resten af verdenshavet,

---

<sup>1</sup>UKM har højere opløsning, men DMI modtager prognoserne i denne opløsning. Tidligere blev UKM vinden forstærket kunstigt med 10% over Nordsøen og med 1-2 m/s over Bælthavet, for at kompensere for den grove opløsning. Denne korrektion er ikke længere i brug.



**Figur 1.** DKSS98 model området, med fire beregningsnet anbragt inde i hinanden (nesting). Modellens åbne tidevandsrande er lagt langs snittene Shetland-Bergen (ca.  $59^{\circ}\text{N}$ ), og Dungeness-Wissant i den Britiske Kanal (ca.  $51^{\circ}\text{N}$ ). De fintmaskede beregningsnet sikrer fri gennemstrømning gennem Bælterne og Øresund.

omtrent langs breddegraderne  $51^{\circ}\text{N}$  og  $59^{\circ}\text{N}$  (de udgør ikke eksakt breddecirkler). Langs nordranden anvendes 10 konstituentter til at beskrive tidevandet,  $M_2, S_2, N_2, K_2, \mu_2, K_1, O_1, P_1, M_4, MS_4$ . Konstituentterne er bestemt af DHI på basis af detaljerede kort udarbejdet af den tyske Kriegsmarine i 1943 [4] samt anden, nyere information [21]. Sammenligning med nyere kort baseret på satellitaltimetri har vist en god overensstemmelse (O. Andersen/KMS, pers. komm.). I den Engelske Kanal anvendes tidekonstituentter fra Admiralty Tables 1999 [10] i Dungeness (England) og Wissant (Belgien). Den anvendes her 4 konstituentter,  $M_2, S_2, K_1, O_1$ , samt en forenklet formulering af 6- og 4-timers shallow-water konstituentterne. Vandstanden langs modelranden foreskrives som summen af tidevandet og invers barometer, men der er ikke noget direkte vindgenereret bidrag langs randen. Indstrømningen ved sydrenden går i retning  $37^{\circ}\text{T}$  (dvs. omtrent mod nordøst). Indstrømningen ved nordranden er vinkelret på randen (dvs. næsten stik syd).

### Afvikling

Stormflodssystemet kører uinitialiseret, dvs. uden at inddrage vandstandsobservationer i selve modelberegningen. Som starttilstand anvendes en mellemregning fra den forrige kørsel, og vandstandsobservationer anvendes i stedet til løbende postprocessing af prognoserne (se afsnit 3.2).

DKSS98 køres 4 gange dagligt, med analysetidspunkt 00, 06, 12 og 18 UTC. Kl. 00 og 12 UTC afvikles både primær (HIR) og back-up (UKM) opsætningen, med prognoselængde 2 døgn, resp.  $1\frac{1}{2}$  døgn. Kl. 06 og 18 UTC afvikles kun den primære opsætning, igen med prognoselængde 2 døgn. Alle prognoser starter 00 UTC den forudgående dag (dvs. mindst 24 timer inden analysen), fra en starttilstand beregnet med gårsdagens 00 UTC kørsel. Der regnes frem til analysetidspunktet (hindcast), hvorefter den egentlige prognose beregnes. Formålet med denne procedure er at forbedre

udgangspunktet for prognosen, ved at så vidt muligt at inddrage analyserede vind- og trykfelter, dvs. gårsdagens kendte vejr, i beregningen.

Hver modelkørsel beregner kort over vandstand og vertikalt midlet strøm gældende for hvert kvarter, hvilket svarer til observationsfrekvensen (se afsnit 3.1). Herudfra trækkes tidsserier for de lokaliteter hvor der står en vandstands- eller strømmåler. Prognoser for vandstand anvendes af DMIs farvandsvagt og andre brugere, præsenteres på DMIs Internetside <http://www.dmi.dk/vejr> under *Vandstande*, og arkiveres for senere verifikation. (Prognoser for strøm for nogle få lokaliteter vises på DMIs Internetside <http://www.dmi.dk/vejr> under *Til søs*. Disse prognoser verificeres ikke.) Hvis den nye vejrprognose af forskellige grunde er utilgængelig holdes systemet i gang ved brug af reserveprognoser fra dagen før eller fra en global vejrmodel. Disse prognoser er antagelig af noget lavere kvalitet, og bruges normalt ikke til varsling/verifikation.

Der opbygges et tapearkiv af strøm- og vandstandskort for et døgn ad gangen, bestående af hindcast delen af 00 UTC kørsler med Hirlam opsætningen.

## 2.2 Revision af DKSS98

I det første halvår af 2000 har der været visse problemer med Hirlams 10 meter vind, idet atmosfærens bundstress beregnet i Hirlam kan afvige væsentligt fra det stress der bliver påtrykt Mike21 ved anvendelse af Hirlams 10 meter vind. Denne inkonsistens resulterede i for høje prognoser for højvande med Hirlam opsætningen. Af denne grund blev UK-lam opsætningen anvendt som primær opsætning fra ultimo december 1999 til 1. september 2000.

Problemet lå dels i Hirlams grænselagsformulering, dels i den dragkoefficient der benyttes i Mike21 til at parametrisere vindstresset ud fra vindstyrken. For at løse problemet arkiveres en speciel vind i Hirlam, til anvendelse i stormflodssystemet. Med anvendelse af denne vind sikres at Mike21 netop påtrykkes Hirlams bundstress, når den hidtidige drag formulering bevares. Det er af tekniske grunde ikke muligt at påtrykke Hirlams bundstress direkte i Mike21, da de styrende ligninger i Mike21 er formuleret ud fra vindstyrken (som jo også er den direkte målbare parameter).

Revisionen blev foretaget i løbet af sommeren 2000 og taget endeligt i brug medio oktober 2000. Den reviderede DKSS98 version er udførligt beskrevet i [7]. De væsentligste ændringer kan sammenfattes således:

- Nye dybdekort i Vadehavet baseret på opmåling foretaget af Kystdirektoratet i 1998-99
- Rekalibrering af bundfriktionsforhold på basis af tidekonstituenten
- Anvendelse af Hirlams bundstress i stedet for 10m vind (for UK-lam opsætningen anvendes stadig 10m vind)
- Ny postprocessing ved anvendelse af astronomisk tidevand (se afsnit 3.2.3)
- Revision af nulpunktskorrektion (se afsnit 3.2.4)
- Bortfiltrering af numerisk støj ved en række Østersøstationer

De to opsætninger (Hirlam og UK-lam) verificeres hver for sig, uden hensyn til hvilken opsætning der faktisk har været den primære på et givet tidspunkt. Endvidere verificeres den til enhver tid operationelle opsætning (OPR), dvs. UKM i perioden jan-aug 2000 samt HIR i perioden sep-dec 2000. Dette sidste sæt af prognoser svarer til hvad der har været offentliggjort på Internettet.

Medio 2001 planlægges yderligere en revision, idet observationsnettet overgår fra 15 min til 10 min drift. I den forbindelse vil især postprocesseringsdelen af DKSS98 blive revideret.

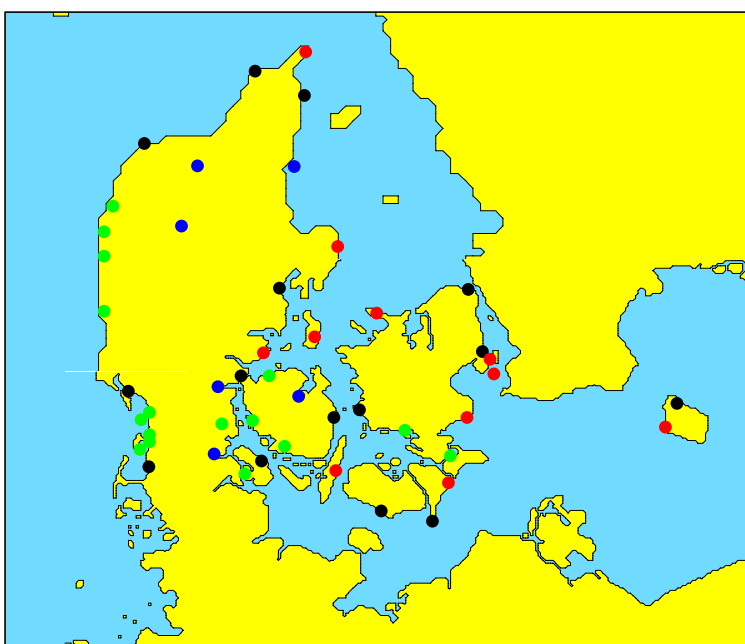


### 3 Verifikationsdata

Datagrundlaget er observeret vandstand i år 2000 ved en række kyststationer, samt DKSS98 prognoser for vandstand gældende for de samme stationer. Strømprogner verificeres ikke, dels af mangel på observationer, dels fordi modellen kun beregner en vertikalt midlet strøm.

#### 3.1 Observationer

Foruden egne vandstandsmålere har DMI via samarbejde med Farvandsvæsenet (FRV), Kystdirektoratet (KDI) og forskellige lokale myndigheder adgang til måling af vandstand i sand tid ved yderligere en række fuldautomatiske danske kyst- og fjordstationer (fig. 2 og tabel 1).



**Figur 2.** Placering af 39 vandstandsmålere. Sort=DMI station, rød=FRV, grøn=KDI, blå=lokal myndighed. On-line observationer, tidevand og 12 timers prognose for alle stationer findes på DMIs Internet side <http://www.dmi.dk/vejr> under *Vandstande*. Der beregnes dog endnu ikke prognoser for stationer i Limfjorden.

Kun stationer med en datadækning på mindst 75% anvendes til verifikation. Endvidere gøres der for hver station kun begrænset brug af data fra enkelte måneder med datadækning under 75%. I 2000 verificeres i alt 36 stationer, heraf

- 15 DMI stationer
- 11 FRV stationer
- 7 KDI stationer
- 3 lokale stationer

Station	Nummer	Position	Region	Ejer
1. Skagen	20002	57°43'N 10°36'E	Skagerrak	FRV
Hirtshals	20047	57°36'N 09°58'E	Skagerrak	DMI
<b>Frederikshavn</b>	20101	57°26'N 10°34'E	Skagerrak	DMI
Hals Barre	20252	56°58'N 10°26'E	Kattegat	L
Løgstør **)	20423	56°58'N 09°15'E	Limfjorden	L
6. Hanstholm	21009	57°07'N 08°36'E	Skagerrak	DMI
Skive **)	21191	56°34'N 09°03'E	Limfjorden	L
Grenå	22121	56°25'N 10°56'E	Kattegat	FRV
Århus	22331	56°09'N 10°13'E	Kattegat	DMI
Juelsminde	23132	56°43'N 10°01'E	Bælthavet	FRV
11. Fredericia	23293	55°34'N 09°45'E	Bælthavet	DMI
<b>Kolding</b>	23322	55°30'N 09°29'E	Bælthavet	L
Thyborøn Kyst	24006	56°42'N 08°13'E	Vestkysten	KDI
Ferring	24018	56°32'N 08°07'E	Vestkysten	KDI
<b>Torsminde Kyst</b>	24122	56°22'N 08°07'E	Vestkysten	KDI
16. Hvide Sande Kyst	24342	56°00'N 08°08'E	Vestkysten	KDI
<b>Esbjerg</b>	25149	55°28'N 08°26'E	Vadehavet	DMI
Ribe Kammerluse *)	25343	55°20'N 08°41'E	Vadehavet	KDI
Havneby	26136	55°05'N 08°34'E	Vadehavet	KDI
<b>Åbenrå</b>	26239	55°03'N 09°26'E	Vestlige Østersø	L
21. Ballum Sluse *)	26346	55°08'N 08°41'E	Vadehavet	KDI
<b>Vidå Sluse</b> *)	26359	54°58'N 08°40'E	Vadehavet	DMI
Fynshav	26457	55°00'N 09°59'E	Vestlige Østersø	DMI
Ballen	27084	55°49'N 10°38'E	Kattegat	FRV
Odense Fjord **)	28086	55°43'N 10°42'E	Bælthavet	L
26. <b>Slipshavn</b>	28233	55°17'N 10°50'E	Bælthavet	DMI
Spodsbjerg	28582	54°56'N 10°50'E	Bælthavet	FRV
Odden	29002	55°58'N 11°22'E	Kattegat	FRV
<b>Korsør</b>	29393	55°20'N 11°08'E	Bælthavet	DMI
Hornbæk	30017	56°06'N 12°28'E	Kattegat	DMI
31. København	30336	55°41'N 12°30'E	Bælthavet	DMI
Nordre Røse	30346	55°38'N 12°41'E	Bælthavet	FRV
Drogden Fyr	30357	55°32'N 12°43'E	Bælthavet	FRV
Rødvig	31063	55°15'N 12°23'E	Vestlige Østersø	FRV
Hesnæs	31493	54°49'N 12°08'E	Vestlige Østersø	FRV
36. <b>Rødby</b>	31573	54°39'N 11°21'E	Vestlige Østersø	DMI
<b>Gedser</b>	31616	54°34'N 11°56'E	Vestlige Østersø	DMI
Tejn	32048	55°15'N 14°50'E	Østersø	DMI
39. Rønne	32096	55°06'N 14°41'E	Østersø	FRV

**Table 1.** Vandstandsstationer. Stationsnavn og -nummer, position, beregningsnet og ansvarshavende. DMI=Danmarks Meteorologiske Institut; KDI=Kystdirektoratet, FRV=Farvandsvæsenet, L=lokal myndighed. Fed skrift = varslingsstation, \*) = slusestation, kun til højvandsstatistik, \*\*) = ny station, verificeres ikke endnu. I Hvide Sande, Torsminde og Thyborøn verificeres mod kystmålerne, som står mindre beskyttet end de tilsvarende havnemålere. I efteråret 2000 har KDI oprettet en række nye vandstandsmålere, som ikke er vist i tabellen. Der forudsiges endnu ikke vandstand for disse stationer.

Vandstanden registreres hvert kvarter relativt til DNN, med en præcision på 1 cm. FRVs målere registrerer på varierende minuttal, medens andre målere registrerer hvert hele kvarter. Tidsstempet for FRVs målere afrundes af praktiske hensyn til nærmeste hele kvarter, hvilket giver en fasefejl på op til 7 minutter.

### 3.1.1 Datadækning

Datadækningen for hver station i år 2000 er vist i Appendix A. Middel datadækningen (36 stationer) er 97.7%. Ingen station har en datadækning under 75% - den dårligste dækning (76.2%) findes ved Hals Barre. DMIs 15 målere har en middel datadækning på 99.1%. I alt har 21 målere en datadækning over 99%.

Der har været visse problemer med Kystdirektoratets kystmålere i Thyborøn, Torsminde og Hvide Sande, idet målerne har tendens til langsomt at drive opad mod højere registrering, hvorefter de nulstilles igen. I varslingen anvendes i højere grad de tilsvarende havnemålere i Torsminde og Hvide Sande. Dette er dog ikke tilfældet i Thyborøn, hvor havnen ligger helt inde i Limfjorden. Opdelingen i prognoser for kyst- og havnemålere er først foretaget medio oktober 2000, hvorfor der stadig verificeres mod kystmålerne.

Månederne angivet herunder har datadækning under 75%:

- Hirtshals: 5
- Hals Barre: 1,2,4,9,10
- Fredericia: 9
- Åbenrå: 11,12
- Ballum: 2
- Nordre Røse: 12

### 3.1.2 Ekstremvandstand

Den højeste og den laveste vandstand registreret i 2000 ved hver station, samt estimeret returperiode for den højeste vandstand er vist i Appendix B (se også [2]). For beregningsmetoden henvises til [3],[8]. Ved slusestationerne i Vadehavet (markeret med \*) i tabel 1), Vidå Sluse, Ribe Kammersluse, og Ballum Sluse, påvirkes registreringen ved lavvande af sluseportene og er dermed ikke repræsentativ for vandstanden i det frie hav. Dette reproduceres ikke af stormflodsmodellen, og disse stationer bliver derfor kun brugt til verifikation af højvande. En oversigt over årets stormfloder ses herunder:

- 19-21. januar Vestlige Østersø
- 29-30. januar Vadehavet og Vestkysten, senere Skagerrak, Kattegat, Bælthavet
- 9. februar Vadehavet
- 12-13. marts Sønderjylland
- 30. oktober Vadehavet, Vestkysten, Skagerrak
- 13. december Vadehavet

En returperiode under 2 år indikerer at den højeste vandstand var under middel størrelse. År 2000 var forholdsvis roligt hvad angår ekstremvandstand. De højeste returperioder på 16-18 år findes i Skagerrak under stormvejret 29-30 januar 2000. Vandstanden på 309 cm i Hvide Sande, som i forbindelse med stormen 30. oktober resulterede i en returperiode på 32.9 år, er ikke fuldt pålidelig.

Havnemåleren registrerede et højvande på 286 cm, hvilket svarer til en returperiode på 13.6 år<sup>1</sup>

I år 2000 havde DMI varslingspligt for 9 stationer (med Gedser som backup station for Rødby). Varlingskriterierne og antal overskridelser i 2000 er angivet i tabel 2.

Station	Varlingskrit./	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Vidå Sluse	250	4	6	5	2	4	3	4
Esbjerg	250	3	1	2	2	3	2	4
Torsminde	200	0	0	0	1	3	1	3
Frederikshavn	90	0	2	2	2	2	2	2
Kolding	100	-	-	-	-	-	1	2
Aabenraa	100	-	-	-	2	4	3	5
Slipshavn	100	0	2	1	1	1	0	0
Korsør	100	0	2	0	1	1	0	0
Rødby	130	0	2	0	0	0	0	0
Gedser	130	0	2	0	0	0	0	0

**Tabel 2.** Antal overskridelser af prognose-varlingskriteriet (cm), 1994-2000.

## 3.2 Prognoser

Stormflodssystemet beregner og arkiverer prognoser for vandstand ved alle stationer i tabel 1<sup>2</sup>. Prognosen er 2 døgn lang (HIR), resp. 1½ døgn) lang (UKM), med en tidlig opløsning på 15 minutter. 12 timers tidsvinduet med prognoselængde fra analyse+06 timer til analyse+18 timer (som er det vigtigste i varslingsøjemed) stykkes sammen fra de enkelte korttidsprognoser til årlige pseudo-tidsserier. Den resterende del af prognoserne bortkastes i denne sammenhæng. Der benyttes kun 00 UTC og 12 UTC prognoser, dvs 06 UTC og 18 UTC prognoser indgår ikke i verifikationen.

Proceduren gennemføres for både Hirlam og UK-lam opsætningen. For den operationelle opsætning stykkes tidsserien sammen af UK-lam prognoser gældende for perioden 1. januar - 31. august 2000, samt Hirlam prognoser gældende for perioden 1. september - 31. december 2000.

### 3.2.1 Datadækning

Der mangler 10 af Hirlam prognoserne, 41 af UK-lam prognoserne, dvs en dækningsgrad på hhv. 98.6% og 94.4%. For den kombinerede, operationelle opsætning er dækningsgraden 94.6%. De manglende prognoser skyldes at den pågældende vejrmødel ikke har været afviklet rettidigt, så Mike21 er kørt på reserveprognoser.

### 3.2.2 Postprocessering

Den beregnede vandstand efterbehandles i to trin: Nulpunktskorrektion og filtrering. Nulpunktskorrektionen foretages en gang for alle, så snart modelkørslen er slut, mens filtreringen er en løbende proces der foretages hver gang der modtages en ny observation. Medio oktober 2000 er der indført et tredje trin i efterbehandlingen: opretning af tidevand (se herunder).

<sup>1</sup>Derimod viser havnemåleren i Torsminde under den samme storm et højere maximum end kystmåleren.

<sup>2</sup>Prognoser for en række udenlandske stationer arkiveres men verificeres ikke.

### 3.2.3 Astronomisk tidevand

I forbindelse med recalibreringen er der foretaget langtidssimuleringer med Mike21 for at definere modellens tidevand. Der blev konstateret fase- og amplitudefejl i visse havområder, og da det astronomiske tidevand er kendt for en række stationer, skiftes Mike21 tidevandet ud med det astronomiske. Denne efterbehandling er taget i brug medio oktober 2000. For en oversigt over ved hvilke stationer tidevandsopretning er taget i brug henvises til [7].

### 3.2.4 Nulpunktskorrektion

Der kan være en forskel i middelvandstand (bias) mellem beregnet og målt vandstand ved de enkelte stationer. Forskellen kan skyldes at stationens nulpunkt ikke er fastlagt korrekt, eller en unøjagtighed i modelberegningen. Når fejlen er persistent, kan der korrigeres ved brug af middelfejlen for 1998 hindcast, senere genberegnet med den reviderede opsætning (Appendix C). Dette giver en mærkbar forbedring af prognoserne for stationer med en stor nulpunktsfejl, men fejlen er ikke stabil fra år til år ved alle stationer [5]. I det videre forløb bruges nulpunktskorrigerede prognoser.

Det skal bemærkes at nulpunktskorrektionen er meget følsom overfor flytning eller genopmåling af den enkelte station, idet en sådan teknisk ændring ikke nødvendigvis er koordineret med varslings-systemet. Endvidere bemærkes at i tilfælde af at stationen oprettes med det astronomiske tidevand, vil en middelvandstand ofte være lagt ind i tidevandsberegningen. Også dette får betydning for de anvendte korrektioner.

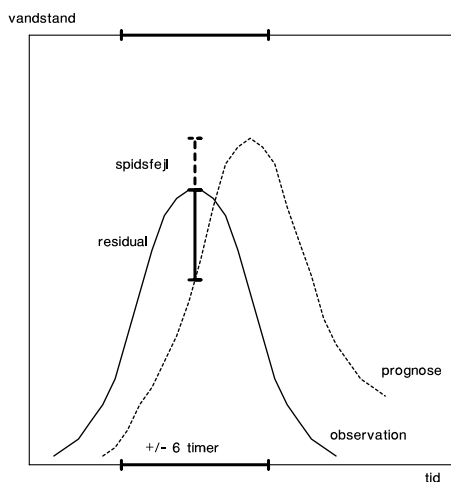
### 3.2.5 Filtrering

Prognosen opdateres hver gang der modtages en ny observation, dvs optimalt hvert kvarter. Fejlen på prognosen fremskrives statistisk i tid ved brug af et autoregressivt (AR) filter, og prognosen rettes op ved at fratække den fremskrevne fejl. For en beskrivelse af metoden, se [7]. De filtrerede prognoser anvendes løbende i varslingen, men arkiveres og verificeres af praktiske årsager ikke.

## 4 Fejlmål

Der opereres med to forskellige typer fejl, som skitseret herunder i figur 3.

- *residual* er prognose minus observation til en given tid
- *spidsfejlen* er beregnet minus observeret vandstandsmaksimum



**Figur 3.** Definition af residual og spidsfejlen. Prognosen er nulpunktskorrigeret inden fejlen beregnes.

Residualen er en almindelig tidsrække, mens spidsfejlen beskrives som en tabel med værdier for hvert enkelt højvande. Desuden opereres der med begreberne *nøgletal*, som er middelværdi af fejlmål taget over alle stationer, samt *succesrate*, som er andelen af godt forudsagte højvande med en given fejlmargen.

I modsætning til praksis for vejmodeller beregnes fejls afhængighed af prognoselængden ikke. Tidligere undersøgelser har indikeret at en systematisk afhængighed ikke findes [12]. Det skyldes at stormflodsmodellen ikke initialiseres ved brug af observeret vandstand, men kører som et 'stand-alone' system - modellen beregner selv sin starttilstand, og dermed er starttilstanden selv fejlbehæftet.

### 4.1 Residual

Ud fra residualen beregnes for hver station årlige fejlmål for de sammenstykkede pseudo-tidsrækker for prognosen, som defineret i kap. 3:

- *me* = middel fejl
- *mae* = middel absolut fejl
- *rms* = rms fejl
- *max* = maksimal fejl
- *ev* = forklaret varians

Fejlmålene beregnes på standard måde (se fx [6]) på årsbasis for hver station<sup>1</sup>. De 4 første fejlmål skal være så små som muligt, mens den forklarede varians optimalt er 100%. For maximumsfejlen beregnes et årligt fejlmål  $Max$  som middelværdien af den største fejl i hver af årets 12 måneder:

$$Max = \frac{1}{12}(max(jan) + max(feb) + \dots + max(dec))$$

Der beregnes nøgletal, betegnet  $ME$  osv. ved at midle over alle stationer. Et ekstra nøgletal  $AME$  beregnes som absolut bias  $me$ , midlet over alle stationer.

## 4.2 Spidsfejl

Prognoser for ekstreme højvande verificeres ved brug af spidsfejlen, som er forskellen mellem beregnet og observeret højvande (figur 3). Der ses bort fra fejl i tidspunktet for højvandets indtræden på indtil 6 timer, og fejlen i tidspunktet verificeres ikke i sig selv. Optræder der mere end 1 højvande inden for 6 timer, vælges det højeste. Er der forudsagt mere end 1 højvande svarende til et enkelt observeret højvande, vælges den højeste prognose. Er der intet højvande forudsagt, udgår dette højvande af verifikationen. Ekstreme lavvande og falske alarmer verificeres ikke.

For hver station tabuleres årets 10 højeste højvande med tilhørende spidsfejl. Resultatet er optegnet for varslingsstationerne, se afsnit 5. Årlige spidsfejlmål

- $mpe$  = middel spidsfejl
- $mape$  = middel absolut spidsfejl
- $mxpe$  = maksimal absolut spidsfejl

beregnes ved enten at midle over disse 10 højvande ( $mpe$ ,  $mape$ ), eller som maksimum ( $mxpe$ ). Nøgletal betegnet  $MPE$  osv, beregnes ved at midle over alle stationer.

## 4.3 Succesrater

Ud fra det samlede antal højvande, 10 pr. station, beregnes en *successrate* som andelen af godt forudsagte højvande, dvs. hvor spidsfejlen er under en vis margin. Mens spidsfejlmålene generelt skal være så lave som muligt, skal succesraterne være så høje som muligt. Der beregnes succesrater med tre fejlmarginer:

- $P HIT10$  = succesrate 10 cm
- $P HIT20$  = succesrate 20 cm
- $P HIT30$  = succesrate 30 cm

Til brug for DMIs resultatkontrakt beregnes  $P HIT30$  separat for Nordsøkysten (fra Vadehavet til Skagens Gren), og for de indre danske farvande (resten af stationerne). Der anvendes kun stationer arkiveret i DMIs database, hvilket bl.a. betyder at Farvandsvæsenets stationer ikke indgår i denne beregning. Succesraten til resultatkontrakten fås som middelværdien af disse to tal.

---

<sup>1</sup>Proceduren er ændret fra tidligere år, hvor der blev beregnet fejlmål for hver måned og herefter midlet. Det gør ikke den store forskel, bortset for forklaret varians, hvor anvendelse af månedsmidler giver relativt større vægt til sommermånederne, hvilket er uønsket.

## 5 Resultater

Herunder beskrives og diskuteres resultatet af verifikationen for år 2000 i detaljer. I det følgende refererer *HIR* til Hirlam opsætningen (primær) og *UKM* til UK-lam opsætningen (back-up), mens *OPR* refererer til den til enhver tid operationelle opsætning, dvs *UKM* i perioden januar-august samt *HIR* i perioden september-december.

Først vises nøgletal, dvs fejlmål midlet over alle stationer. Der er udarbejdet en simpel hyppighedsfordeling af hvert enkelt fejlmål (tabel 3), med angivelse af hvor mange stationer der falder i hver af kategorierne 'lille', 'middel', og 'stor' fejl. Grænserne er valgt som runde tal ud fra hvad der skønnes at være rimeligt. I kap. 6 sammenlignes nøgletal for år 2000 med resultater fra forudgående år.

Herefter vises succesrater med anvendelse af forskellige fejlmarginer i tabel 4. Der er beregnet succesrater, dels for hele modelområdet, dels for separate havområder, og dels for varslingsstationerne.

Endelig vises årlige middelværdier af hvert enkelt fejlmål, station for station, i tabellerne på de følgende sider. Tabel 5-9 viser residual statistik, mens tabel 10-12 viser spidsfejl statistik. Figur 6-13 viser spidsfejl for de 10 højeste vandstande ved hver af varslingsstationerne angivet i tabel 2. Bemærk at der ofte forekommer flere højvande i forbindelse med den samme storm.



## 5.1 Hyppighedsfordeling og nøgletal

I tabel 3 angives hyppighedsfordeling af samtlige fejlmål i kategorierne 'lille', 'middel', og 'stor', samt nøgletal dvs. fejlmål midlet over alle stationer.

ME (cm)	HIR	UKM	OPR
lille 0-5	19	13	17
middel 5-10	9	13	10
stor >10	5	7	6
middel	4.1	4.5	3.9
abs. middel	5.4	6.2	5.7

MAE (cm)	HIR	UKM	OPR
lille 0-10	7	7	7
middel 10-15	21	21	21
stor >15	5	5	5
middel	12.2	12.1	12.2

RMS (cm)	HIR	UKM	OPR
lille 0-10	2	1	1
middel 10-20	27	29	29
stor >20	4	3	3
middel	15.6	15.2	15.3

MAX (cm)	HIR	UKM	OPR
lille 0-30	2	4	4
middel 30-50	16	17	16
stor >50	15	12	13
middel	51.5	45.8	46.7

EV (%)	HIR	UKM	OPR
høj >75	7	11	7
middel 50-75	18	19	23
lav 0-50	8	3	3
middel	62.5	67.9	65.2

MPE (cm)	HIR	UKM	OPR
lille 0-10	17	12	15
middel 10-20	7	15	12
stor >20	12	9	9
middel	4.8	-14.9	-13.0

MAPE (cm)	HIR	UKM	OPR
lille 0-15	9	17	16
middel 15-30	13	14	15
stor >30	14	5	5
middel	26.5	19.9	19.4

MXPE (cm)	HIR	UKM	OPR
lille 0-30	6	13	11
middel 30-50	12	12	17
stor >50	18	11	8
middel	59.6	42.6	41.1

**Tabel 3.** Simpel hyppighedsfordeling af fejlmål samt nøgletal. *ME* = middel fejl (bias), *MAE* = middel absolut fejl, *RMS* = r.m.s. fejl, *MAX* = maksimal fejl, *EV* = forklaret varians, *MPE* = middel spidsfejl (peak bias), *MAPE* = middel absolut spidsfejl, *MXPE* = maksimal spidsfejl. Grænserne mellem de forskellige kategorier er fastlagt ud fra et subjektivt skøn.

Systemet har en lille til middelstor bias (*ME*) på ca. 4 cm. Middelværdien af absolut bias er 5-6 cm, og falder dermed i kategorien 'middel'. Dette kan henføres til nulpunktskorrektionen (Appendix C) som åbenbart trænger til at blive revideret. Der er middelstor *MAE/RMS* fejl, og middelstor til stor maksimumsfejl (*MAX*), med ret lille forskel mellem opsætningerne. Den forklarede varians er middelhøj med HIR opsætningen, middelhøj til høj med UKM opsætningen. UKM opsætningen er ca. 5%-points bedre end HIR opsætningen, mens OPR opsætningen falder midt imellem, med meget stop hyppighed af middelstor forklaret varians.

Middel spidsfejl (*MPE* eller peak bias) er usystematisk fordelt med HIR opsætningen, hvor stationerne enten falder i kategorien 'lille' eller i kategorien 'stor' fejl. For UKM og OPR opsætningerne er *MPE* lille til middelstor, med en bedre score med OPR opsætningen. HIR opsætningen overvurderer de ekstreme højvande med ca. 5 cm i middel, mens de øvrige opsætninger undervurderer med knap 15 cm. Middel absolut spidsfejlen *MAPE* er middel til stor med HIR opsætningen, men lille til middelstor med de øvrige opsætninger. HIR fejlen er i middel 6-7 cm højere end UKM/OPR fejlen.

Endelig er maksimums spidsfejlen *MXPE* markant højere med HIR opsætningen (middel til stor) end med UKM/OPR opsætningerne (middel).

Residual fejlmål er omtrent lige store for alle opsætninger, dog har UKM opsætningen højere forklaret varians. OPR opsætningen var i 2000 bedst til at forudsige ekstreme højvande, hvilket retfærdiggør beslutningen om at skifte operationel model i årets første 8 måneder.

## 5.2 Succesrater

I Tabel 4 angives antal forudsagte højvande med tre forskellige succeskriterier, hhv. 10 cm, 20 cm og 30 cm. Der angives en generel succesrate for begge opsætninger, en succesrate for de 10 varslingsstationer, og succesrater for de separate områder Nordsødkysten op til Skagen (Nordsø), og for de indre danske farvande fra Skagen til Bornholm (IDF). Formålet med at dele op geografisk er at gøre succesraten mindre afhængig af hvilke stationer der er til rådighed et givet år, dvs. opretelse/nedlæggelse af stationer mv. Til beregning af Nordsø/IDF succesrater anvendes kun stationer der er arkiveret i DMIs database, dvs. alle FRV stationer er udeladt (Tabel 1). I alt er anvendt 11 Nordsøstationer og 13 stationer i indre danske farvande.

Kriterium	Alle			Varsling		
	HIR	UKM	OPR	HIR	UKM	OPR
10 cm	29.8	42.5	43.5	31.6	55.1	57.1
20 cm	54.2	63.0	63.7	60.2	78.6	77.6
30 cm	66.6	78.3	77.8	76.5	86.7	85.7
Kriterium	Nordsø			IDF		
	HIR	UKM	OPR	HIR	UKM	OPR
10 cm	20.0	20.2	26.6	37.0	59.3	58.1
20 cm	34.5	42.2	45.0	66.1	79.7	79.0
30 cm	48.2	59.6	62.4	78.7	91.1	87.9

**Tabel 4.** Succesrate for forudsigelse af de 10 højeste vandstande ved hver station, 2000. Af de 10 varslingsstationer ligger de 3 langs Nordsødkysten, de øvrige i de indre danske farvande. HIR/UKM/OPR = primær/back-up/operationel opsætning.

Succesraten for den primære opsætning er markant lavere end for back-up opsætningen. Med et 30 cm kriterium forudsiges 2 ud af 3 højvande med HIR opsætningen, mens UKM/OPR opsætningerne forudsiger mere end 3 ud af 4 højvande (succesrate på 78%). Dette retfærdiggør anvendelsen af UKM som primær opsætning i årets første 8 måneder. For de 10 varslingsstationer er succesraten højere end generelt. UKM/OPR opsætningerne har en succesrate på 78% allerede ved et kriterium på 20 cm, og mere end 5 ud af 6 højvande forudsiges med et 30 cm kriterium. HIR opsætningen ligger over 10 %-points lavere. Ved at dele op på stationer ved Nordsøen, resp. i de indre danske farvande (IDF), ses at OPR opsætningen har den bedste succesrate i Nordsøen med en succesrate lige over 60 %, mens UKM opsætningen er bedst i de indre danske farvande. Skiftet tilbage til HIR som primær opsætning i årets sidste 4 måneder har dermed ført til bedre prognoser for højvande i Nordsøen, på bekostning af de indre danske farvande.

Til brug for DMIs resultatkontrakt beregnes middelværdien af 30 cm succesraten for Nordsøstationerne og for IDF stationerne for den operationelle opsætning (OPR). Tallet er herunder desuden beregnet for HIR/UKM opsætningerne.

*HIR* : 63.5%

*UKM* : 75.4%

*OPR* : 75.2%

UKM og OPR opsætningerne scorer ca. 12 %-point højere end HIR opsætningen<sup>1</sup> UKM opsætningen scorer marginalt bedre end OPR opsætningen, hvilket antyder at det havde været bedst at anvende UKM prognoser hele året. Imidlertid fremgår det af diskussionen ovenfor, at OPR opsætningen scorer bedst i Nordsøen, og dermed har en mere jævn fordeling af fejlen.

<sup>1</sup>Eventuelle afvigelser fra tidligere rapporterede værdier skyldes ændring af metoden til beregning af spidsfejl.

### 5.3 Middelfejl (ME)

Station	HIR	UKM	OPR
Skagen	0.9	-0.7	-0.7
Hirtshals	-0.4	-2.4	-2.3
Frederikshavn	3.4	1.7	1.7
Hals Barre	11.9	11.0	11.1
Hanstholm	13.6	11.3	11.4
Grenå	3.0	1.8	1.5
Århus	8.7	7.9	7.7
Juelsminde	3.1	3.5	3.2
Fredericia	4.8	6.9	6.0
Kolding	8.8	11.7	10.3
Thyborøn	-2.5	-5.8	-5.6
Ferring	-3.4	-5.8	-5.5
Torsminde	-1.1	-4.2	-4.0
Hvide Sande	4.9	1.8	2.1
Esbjerg	10.4	4.9	6.3
Havneby	5.8	0.7	1.6
Aabenraa	-6.6	-2.4	-3.6
Fynshav	17.7	21.9	20.4
Ballen	1.1	0.9	0.5
Slipshavn	4.1	4.7	3.9
Spodsbjerg	3.4	5.6	4.4
Sjællands Odde	-6.4	-6.7	-7.1
Korsør	3.6	5.1	4.1
Hornbæk	8.4	7.7	7.2
København	-1.4	-0.6	-1.4
NordreRøse	11.2	12.1	11.1
Drogden	2.4	5.8	4.2
Rødvig	6.0	9.9	8.2
Hesnæs	1.3	5.5	3.8
Rødby	7.4	12.1	10.3
Gedser	6.2	10.4	8.7
Tejn	1.5	5.2	3.4
Roenne	3.1	6.9	5.2

**Tabel 5.** Middelfejl, 2000. HIR/UKM/OPR = primær/backup/operationel opsætning.

Middelfejlen *ME* varierer fra -6 cm til +22 cm. Fejlen er oftest positiv, dvs. prognoserne er for høje, og der findes en række stationer med stor positiv bias. Nulpunktkorrektionen (Appendix C) fjerner middelfejlen ved en del stationer, men overkorrigerer ved andre. HIR opsætningen har stor positiv *ME* (>10 cm) ved Hals Barre, Hanstholm, Esbjerg, Fynshav og Nordre Røse, og middelstor *ME* (5-10 cm) ved yderligere 9 stationer. UKM opsætningen har desuden stor *ME* ved Kolding, Rødby og Gedser og middelstor *ME* ved yderligere 12 stationer. OPR opsætningen ligger oftest mellem de to øvrige opsætninger, men det er ikke konsekvent. Den geografiske fordeling er usystematisk, idet fejlen har at gøre med den enkelte målers nivellement. Det skal bemærkes at enkelte målere har skiftet nivellement i 2000 uden at nulpunktkorrektionen er ændret tilsvarende. Dette er for eksempel tilfældet i Fynshav (rykket 17 cm), og Esbjerg (10 cm).

## 5.4 Middel absolutfejl (MAE)

Station	HIR	UKM	OPR
Skagen	10.6	10.2	10.2
Hirtshals	10.9	10.4	10.5
Frederikshavn	11.0	10.5	10.6
Hals Barre	15.5	15.0	15.1
Hanstholm	18.1	16.3	16.4
Grenå	11.2	11.2	11.2
Århus	13.8	13.3	13.4
Juelsminde	13.5	13.4	13.6
Fredericia	11.0	10.8	10.7
Kolding	12.7	13.6	13.6
Thyborøn	12.8	13.4	13.3
Ferring	13.1	13.3	13.4
Torsminde	14.7	14.7	14.7
Hvide Sande	14.6	14.2	14.2
Esbjerg	19.6	18.0	18.5
Havneby	17.1	15.8	15.9
Aabenraa	11.0	8.8	9.5
Fynshav	19.2	22.3	21.3
Ballen	10.5	10.2	10.3
Slipshavn	11.1	11.3	11.3
Spodsbjerg	9.2	9.9	9.8
Sjællands Odde	11.5	10.9	11.1
Korsør	8.4	8.9	8.4
Hornbæk	13.0	12.0	11.9
København	11.0	10.4	10.5
NordreRoese	12.6	13.0	12.5
Drogden	7.9	8.3	8.5
Rødvig	9.7	10.8	10.4
Hesnæs	8.4	8.2	8.6
Rødby	11.8	13.7	13.3
Gedser	11.0	12.1	12.5
Tejn	7.0	7.2	7.6
Roenne	7.8	8.6	8.6

**Tabel 6.** Middel absolut fejl, 2000. HIR/UKM/OPR = primær/backup/operationel opsætning.

Middel absolut fejlen *MAE* varierer fra 7 cm i Tejn til ca. 20 cm i Esbjerg og Fynshav. Lille (0-10 cm) *MAE* findes ved stationer i den vestlige Østersø og Bælthavet, middel *MAE* (10-15 cm) i Kattegat, Skagerrak og langs Vestkysten, mens stor *MAE* (>15 cm) findes i Vadehavet (Esbjerg og Havneby), i Skagerrak (Hanstholm), samt i Fynshav og Hals Barre på grund af den store nulpunktsfejl. Forskellen mellem de tre opsætninger er lille, typisk under 1 cm *MAE*.

## 5.5 RMS fejl

Station	HIR	UKM	OPR
Skagen	14.2	13.1	13.3
Hirtshals	14.7	13.4	13.5
Frederikshavn	14.7	13.6	13.7
Hals Barre	19.5	18.8	18.9
Hanstholm	22.0	19.8	19.8
Grenå	14.9	14.5	14.5
Århus	17.8	17.0	17.1
Juelsminde	17.3	17.0	17.2
Fredericia	14.3	14.0	13.8
Kolding	15.5	16.3	16.5
Thyborøn	16.8	17.3	17.3
Ferring	17.3	17.5	17.6
Torsminde	19.4	19.5	19.3
Hvide Sande	18.7	18.1	18.1
Esbjerg	24.3	21.9	22.6
Havneby	22.5	20.4	20.5
Aabenraa	14.5	11.4	12.3
Fynshav	22.1	24.8	24.1
Ballen	13.8	13.2	13.3
Slipshavn	14.3	14.4	14.4
Spodsbjerg	11.9	12.6	12.4
Sjællands Odde	14.5	13.4	13.8
Korsør	11.0	11.4	10.9
Hornbæk	17.2	15.2	15.1
København	13.9	13.1	13.2
NordreRoese	15.7	15.6	15.2
Drogden	10.1	10.4	10.6
Rødvig	12.3	12.9	12.7
Hesnæs	11.0	10.3	10.6
Rødby	15.2	17.0	16.8
Gedser	13.5	14.5	14.8
Tejn	8.9	9.0	9.4
Roenne	9.9	10.7	10.7

**Tabel 7.** Middel RMS fejl, 2000. HIR/UKM/OPR = primær/backup/operationel opsætning.

*RMS* fejlen varierer fra 9 cm (Tejn) til ca. 25 cm (Fynshav, Esbjerg) i alle tre opsætninger. *RMS* fejlen er 15-25% større end *MAE*, men følger ellers samme mønster.

## 5.6 Maksimal fejl (MAX)

Station	HIR	UKM	OPR
Skagen	54.8	48.3	48.4
Hirtshals	57.2	49.6	50.2
Frederikshavn	57.5	50.1	50.6
Hals Barre	64.6	58.2	60.3
Hanstholm	68.0	56.9	57.2
Grenå	57.1	50.3	51.6
Århus	61.7	53.9	54.4
Juelsminde	57.9	51.6	52.7
Fredericia	50.0	41.1	43.8
Kolding	46.4	44.0	47.6
Thyborøn	60.7	58.9	60.6
Ferring	65.2	62.5	65.4
Torsminde	63.8	59.2	60.6
Hvide Sande	69.2	62.5	64.6
Esbjerg	78.8	63.9	65.4
Havneby	77.5	68.5	69.1
Aabenraa	49.8	37.0	37.4
Fynshav	48.8	48.5	49.2
Ballen	49.2	43.5	44.3
Slipshavn	45.1	43.9	43.4
Spodsbjerg	44.9	43.1	42.6
Sjællands Odde	47.9	40.3	41.2
Korsør	39.5	37.2	36.4
Hornbæk	54.9	46.1	45.5
København	46.9	43.8	43.8
NordreRoese	46.8	44.5	43.9
Drogden	33.7	30.8	32.2
Rødvig	35.4	27.7	29.4
Hesnæs	37.1	27.6	28.9
Rødby	39.8	38.6	39.2
Gedser	35.7	33.9	35.2
Tejn	24.2	21.0	22.7
Roenne	28.0	23.2	24.8

**Tabel 8.** Middel maksimal fejl *MAX*, 2000. HIR/UKM/OPR = primær/backup/operationel opsætning. Bemærk at *MAX*, i modsætning til de øvrige fejlmål, er beregnet som middel af den største fejl for hver af årets 12 måneder.

*MAX* fejlen varierer fra ca. 25 cm i Tejn til knap 80 cm i Esbjerg og Havneby. *MAX* fejlen er ved samtlige stationer lavere med back-up opsætningen end med den primære opsætning. Dette tilskrives en systematisk fejl i Hirlams 10 meter vind, som generelt lå for højt i første halvår af 2000. OPR opsætningen er ganske lidt ringere end UKM opsætningen ved et flertal af stationerne, men stadig bedre end HIR opsætningen.

## 5.7 Forklaret varians (EV)

Station	HIR	UKM	OPR
Skagen	60.5	66.0	65.2
Hirtshals	60.2	67.9	67.5
Frederikshavn	55.1	60.1	59.2
Hals Barre	46.8	47.8	47.1
Hanstholm	59.6	64.4	64.6
Grenå	60.1	60.8	60.6
Århus	46.2	49.0	48.0
Juelsminde	41.5	44.4	42.1
Fredericia	43.9	54.0	51.8
Kolding	54.0	64.3	53.9
Thyborøn	78.6	79.3	79.1
Ferring	79.4	80.5	79.9
Torsminde	77.4	78.3	78.6
Hvide Sande	84.9	85.0	85.0
Esbjerg	89.2	89.7	89.4
Havneby	90.9	92.1	92.0
Aabenraa	67.2	75.4	72.6
Fynshav	60.4	69.5	62.9
Ballen	50.5	55.1	53.8
Slipshavn	56.4	57.3	55.5
Spodsbjerg	61.5	62.2	60.0
Sjællands Odde	42.9	54.4	52.7
Korsør	67.9	69.0	69.6
Hornbæk	43.9	56.7	55.5
København	47.6	53.2	52.9
NordreRoese	49.5	58.9	54.7
Drogden	67.7	74.8	68.4
Rødvig	68.2	81.1	74.2
Hesnæs	72.9	82.8	77.7
Rødby	63.6	70.9	63.6
Gedser	64.0	74.2	63.9
Tejn	75.2	82.2	74.8
Roenne	73.3	80.3	73.4

**Table 9.** Forklaret varians (EV), 2000. HIR/UKM/OPR = primær/backup/operationel opsætning. Bemærk at EV er beregnet som et enkelt årsmiddel, i stedet for som tidligere, som middel af 12 månedsværdier. Den nye metode giver et bedre billede af fejlmålets fordeling.

Den forklarede varians EV varierer fra 40-50% ved stationerne i Bælthavet og det sydlige Kattegat, til ca. 90% i Havneby og Esbjerg. Lille forklaret varians findes især i Lillebælt og Øresund, hvor faseforholdene i de rolige sommermåneder beskrives dårligt, samt ved Hals Barre. Høj forklaret varians (>75%) findes langs hele vestkysten, dvs hvor tidevandet er kraftigst, og for UKM opsætningen desuden i Åbenrå samt en del stationer i den vestlige Østersø. UKM prognosen er bedre end HIR prognosen ved samtlige stationer. OPR opsætningen ligger imellem de to øvrige opsætninger ved de fleste stationer.



## 5.8 Middel spidsfejl (MPE)

Station	HIR	UKM	OPR
Skagen	-16.6	-27.2	-25.8
Hirtshals	2.2	-15.0	-13.6
Frederikshavn	1.5	-16.6	-15.1
Hals Barre	-24.8	-29.1	-28.2
Hanstholm	-0.7	-21.8	-20.4
Grenå	-0.9	-19.0	-18.9
Århus	-7.2	-22.1	-21.7
Juelsminde	-8.5	-17.8	-20.7
Fredericia	-3.7	-10.0	-12.1
Kolding	11.4	-4.2	-4.2
Thyborøn	-32.0	-51.3	-49.3
Ferring	-25.6	-40.8	-37.2
Torsminde	-23.4	-43.7	-39.9
Hvide Sande	-27.2	-47.6	-45.4
Esbjerg	27.4	-11.9	3.6
Ribe Kammersluse	47.5	-16.7	-8.1
Havneby	28.1	-15.8	-7.7
Aabenraa	-1.3	-14.8	-14.8
Ballum Sluse	15.9	-25.6	-8.8
Vidå Slusen	46.2	-2.1	7.1
Fynshav	24.5	12.4	12.4
Ballen	1.0	-17.7	-19.7
Slipshavn	-4.1	-14.3	-16.0
Spodsbjerg	0.1	-11.8	-11.8
Sjællands Odde	15.1	-9.7	-11.0
Korsør	8.7	-5.2	-5.2
Hornbæk	24.9	-9.3	-9.1
København	2.0	-12.5	-16.0
NordreRoese	6.9	-4.9	-4.9
Drogden	8.2	-5.9	-5.9
Rødvig	19.4	6.4	6.4
Hesnæs	13.1	-1.5	-1.5
Rødby	17.3	0.8	0.8
Gedser	21.0	10.5	10.5
Tejn	3.6	-3.3	-3.3
Roenne	5.1	-4.0	-4.0

**Tabel 10.** Middel spidsfejl, 2000. HIR/UKM/OPR = primær/backup/operationel opsætning.

Ved dette og de øvrige spidsfejlmål er slusestationerne Vidå, Ballum og Ribe inkluderet. Mens UKM/OPR opsætningerne undervurderer ekstreme højvande (værst ved Vestkyststationerne), er billedet mere kompliceret for HIR opsætningen. Ekstreme højvande undervurderes markant langs Vestkysten (dog i mindre grad end med UKM opsætningen), men overvurderes i Vadehavet. Desuden findes stor MPE ved Skagen, Hals Barre, Fynshav og Hornbæk, samt ved en række Østersøstationer. Det bemærkes at specielt i Vadehavet er OPR opsætningen de to øvrige overlegen, hvor kombinationen af UKM/HIR fører til en MPE på under 10 cm. Ved de øvrige stationer er billedet mindre klart.

## 5.9 Middel absolut spidsfejl (MAPE)

Station	HIR	UKM	OPR
Skagen	32.6	29.0	27.6
Hirtshals	35.8	27.4	26.0
Frederikshavn	26.5	20.6	19.1
Hals Barre	28.6	29.5	28.6
Hanstholm	46.9	36.2	34.9
Grenå	34.5	30.0	29.9
Århus	23.4	22.1	21.7
Juelsminde	22.3	17.8	20.7
Fredericia	17.5	11.4	13.5
Kolding	13.8	8.2	8.2
Thyborøn	36.8	51.3	49.3
Ferring	30.4	40.8	38.4
Torsminde	36.6	43.7	39.9
Hvide Sande	52.0	50.2	48.0
Esbjerg	31.2	14.1	14.8
Ribe Kammersluse	47.5	25.5	27.7
Havneby	40.5	16.0	9.3
Aabenraa	11.1	15.4	15.4
Ballum Sluse	23.7	25.6	16.8
Vidå Slusen	47.6	11.3	10.5
Fynshav	24.5	12.9	12.9
Ballen	25.4	17.7	19.7
Slipshavn	14.9	14.3	16.0
Spodsbjerg	13.9	13.2	13.2
Sjællands Odde	34.5	20.3	21.6
Korsør	8.9	6.2	6.2
Hornbæk	53.3	26.0	25.8
København	16.4	12.5	16.0
NordreRoese	21.5	7.3	7.3
Drogden	8.6	5.9	5.9
Rødvig	19.6	10.2	10.2
Hesnæs	14.2	8.0	8.0
Rødby	17.8	4.8	4.8
Gedser	21.0	10.5	10.5
Tejn	6.2	4.4	4.4
Roenne	9.1	7.1	7.1

**Tabel 11.** Middel absolut spidsfejl, 2000. HIR/UKM/OPR = primær/backup/operationel opsætning

Middel absolut spidsfejlen varierer fra 5-10 cm i Østersøen, hvor vandstandsvariationerne er relativt små, til op mod 50 cm ved slusestationerne i Vadehavet, hvor vandstandsvariationerne er store. Specielt i Vadehavet og videre nordpå langs Vestkysten til Thyborøn er MAPE uacceptabelt høj. Ved de fleste stationer er UKM opsætningen bedre end HIR opsætningen, som især under stormen 29-30. januar gav alt for høje vandstandsprognoser i store dele af de danske farvande. I Vadehavet er OPR opsætningen markant bedre end begge de øvrige opsætninger, men ellers svarer MAPE for OPR opsætningen omtrent til UKM opsætningen.

## 5.10 Maksimal spidsfejl (MXPE)

Station	HIR	UKM	OPR
Skagen	48	57	48
Hirtshals	84	68	57
Frederikshavn	52	42	41
Hals Barre	43	47	43
Hanstholm	75	76	71
Grenå	92	64	50
Århus	46	64	46
Juelsminde	50	42	50
Fredericia	45	28	42
Kolding	25	23	23
Thyborøn	81	91	81
Ferring	71	80	71
Torsminde	66	75	66
Hvide Sande	104	115	104
Esbjerg	80	42	50
Ribe Kammersluse	125	44	46
Havneby	86	58	43
Aabenraa	20	32	32
Ballum Sluse	83	50	50
Vidå Slusen	115	29	22
Fynshav	42	27	27
Ballen	75	31	36
Slipshavn	51	41	51
Spodsbjerg	33	32	32
Sjællands Odde	92	33	35
Korsør	32	11	11
Hornbæk	127	55	52
København	44	20	44
NordreRoese	66	17	17
Drogden	23	16	16
Rødvig	35	23	23
Hesnæs	32	22	22
Rødby	25	14	14
Gedser	37	37	37
Tejn	13	10	10
Roenne	28	18	18

**Tabel 12.** Maksimal spidsfejl, 2000. HIR/UKM/OPR = primær/backup/operationel opsætning

Den maksimale spidsfejl MXPE angiver absolut fejlen på den dårligste prognose (*worst case*) for de 10 højeste vandstande ved hver station. OPR opsætningen kan således ikke blive dårligere end den dårligste af de to øvrige opsætninger, men kan godt blive bedre end dem begge. For HIR opsætningen varierer MXPE fra ca. 30 cm ved Østersøstationerne til en meter eller mere ved flere stationer i Vadehavet, Skagerrak og Kattegat. Det skyldes dels en enkelt meget dårlig Hirlam prognose (se ovenfor), og dels at højvande generelt undervurderes ved Vestkyststationerne. For UKM opsætningen er fejlen generelt mindre, bortset fra ved Vestkyststationerne. For OPR opsætningen er fejlen oftest identisk med den laveste af de to øvrige, og ved en række stationer mindre.

## 5.11 Spidsfejl ved varslingsstationerne

For de 10 varslingsstationer er på figur 4-13 vist de 10 højeste vandstandsmaksima samt tilhørende spidsfejl, i aftagende størrelsesorden. En positiv spidsfejl indikerer at prognosen var for høj. Resultaterne for den operationelle opsætning (OPR) er sammenfattet i tabel 13 herunder, hvor det angives hvor mange højvande (af 10) der er korrekt forudsagt med anvendelse af 10/20/30 cm succeskriterium, samt i hvor mange tilfælde prognosen var for lav, resp. for høj.

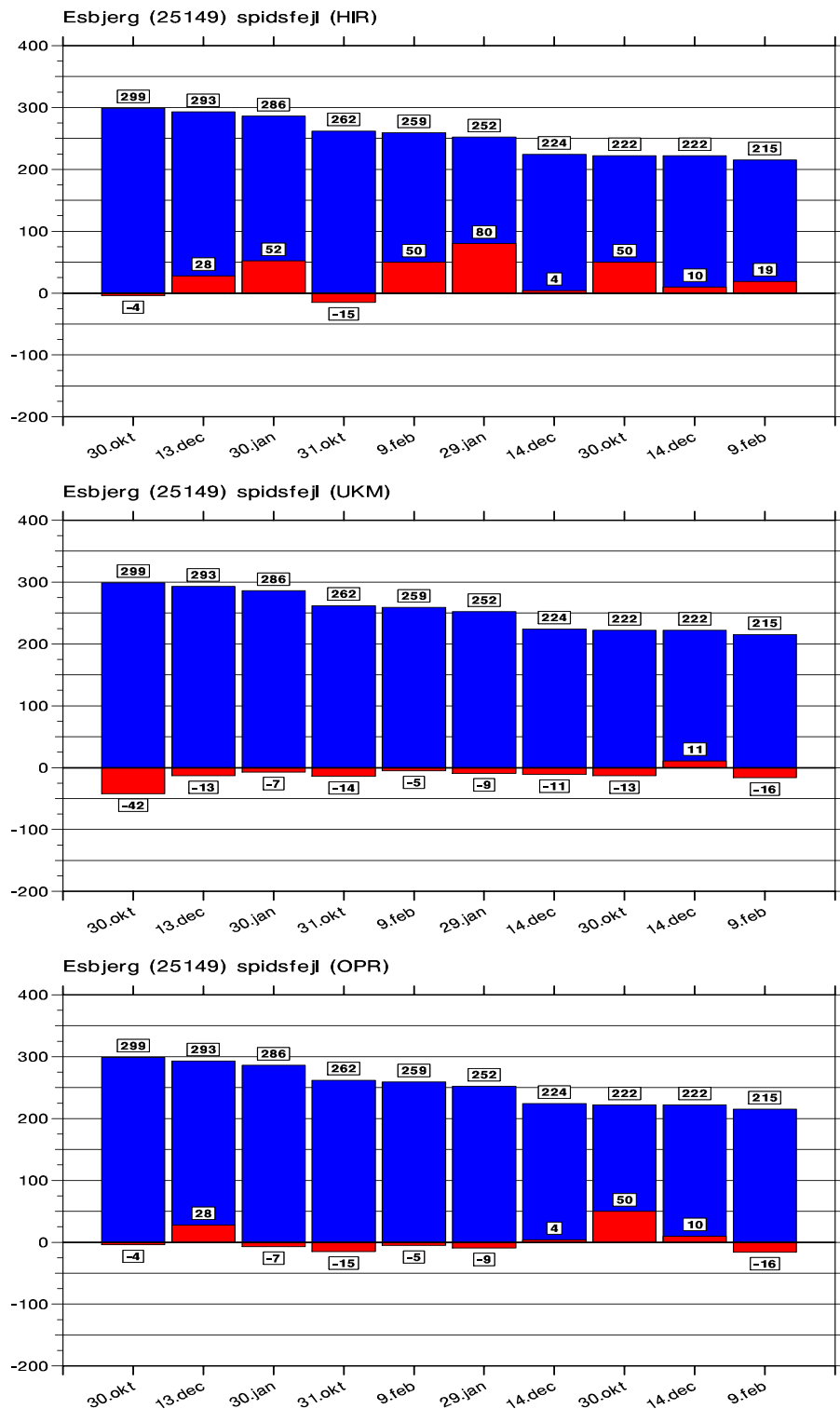
Station	<10cm	<20cm	<30cm	Under	Over
Torsminde	1	1	3	10	0
Esbjerg	6	8	9	6	4
Vidå	5	9	10	2	8
Frederikshavn	4	6	7	7	3
Kolding	8	9	10	7	3
Aabenraa	3	7	8	8	1
Slipshavn	5	8	9	10	0
Korsør	9	10	10	8	1
Rødby	8	9	9	2	7
Gedser	7	9	9	0	10
Total af 100	56	76	84	60	37

**Tabel 13.** Operationel spidsfejl ved varslingsstationerne, 2000.

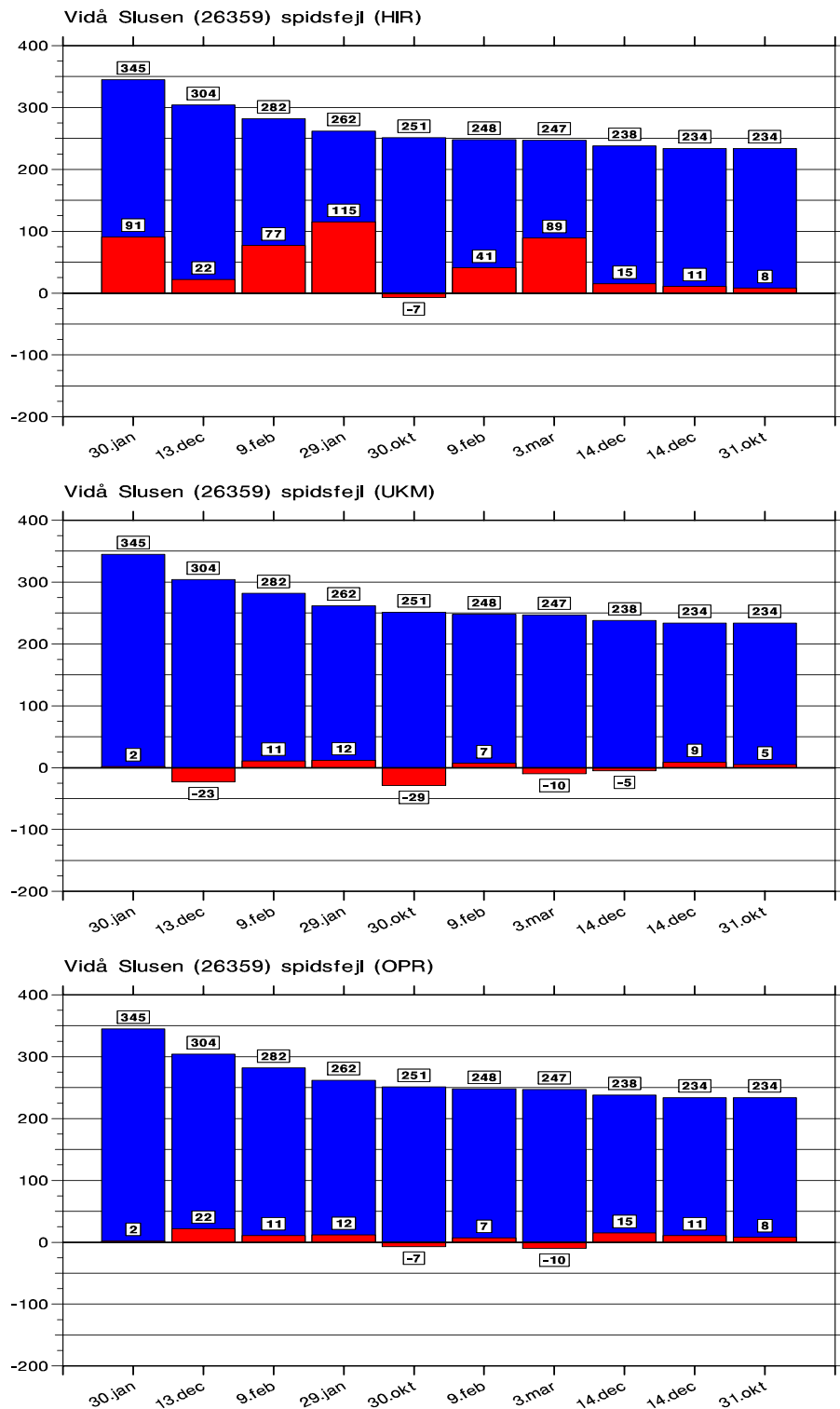
Bortset fra Torsminde rammes højvande generelt godt, idet mindst 6 ud af 10 højvande forudsiges med et 20 cm kriterium, og mindst 7 ud af 10 med et 30 cm kriterium (sml. iøvrigt med tabel 4. Der er et generelt problem med at forudsige de højeste højvande i Torsminde. For to højvande foreligger der ingen prognose (Rødby og Aabenraa), og for et enkelt højvande er fejlen 0.

Højvande undervurderes i 6 ud af 10 tilfælde, dvs. hyppigere end de overvurderes. Denne tendens er mest udpræget i Torsminde og Slipshavn, hvor alle højvande undervurderes, mens alle højvande overvurderes i Gedser.

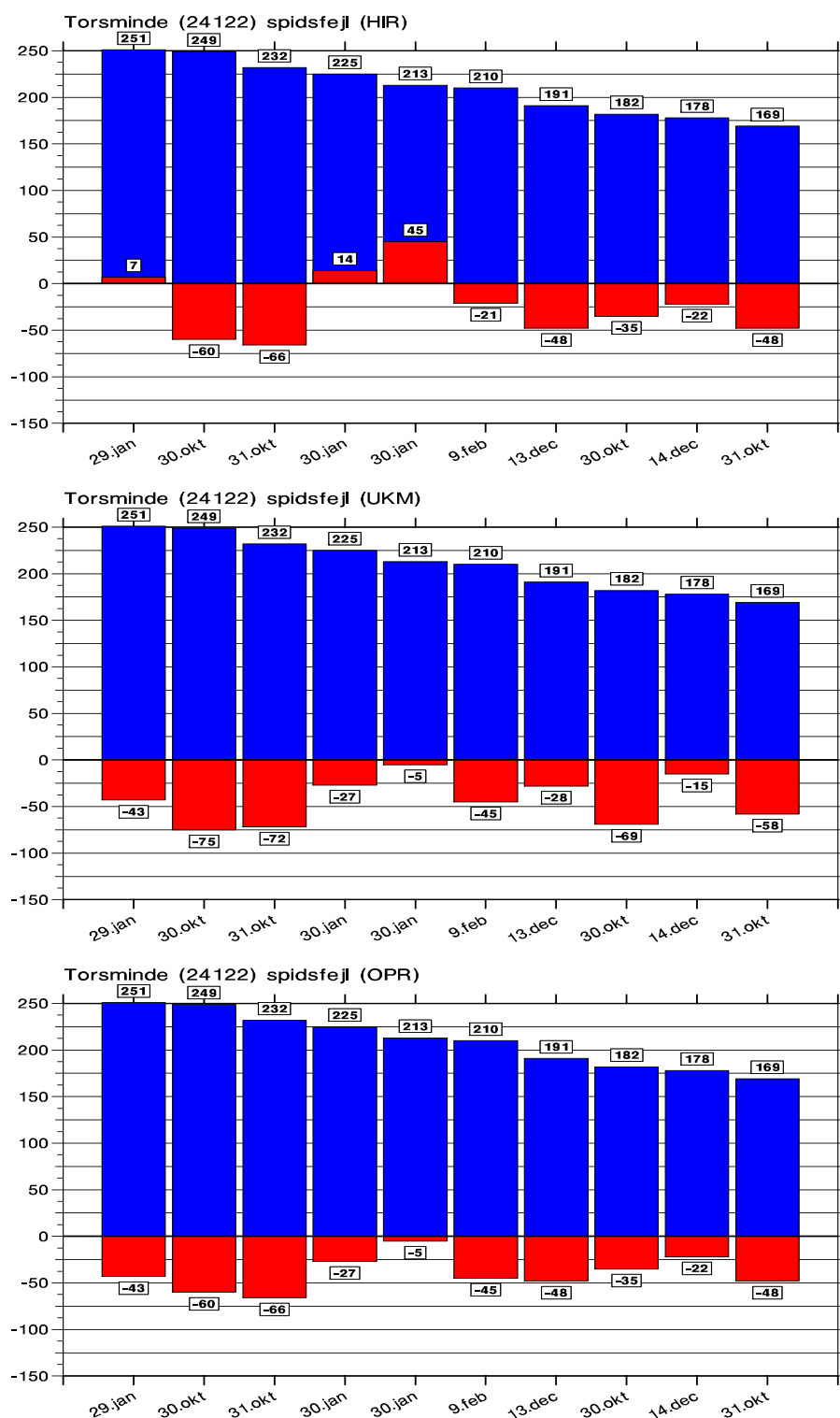
Af figureerne på de følgende sider ses prognosen for hvert enkelt højvande for hver af de tre opsætninger, idet OPR opsætningen fremkommer ved at anvende UKM prognoser i årets første 8 måneder, og HIR prognoser resten af året.



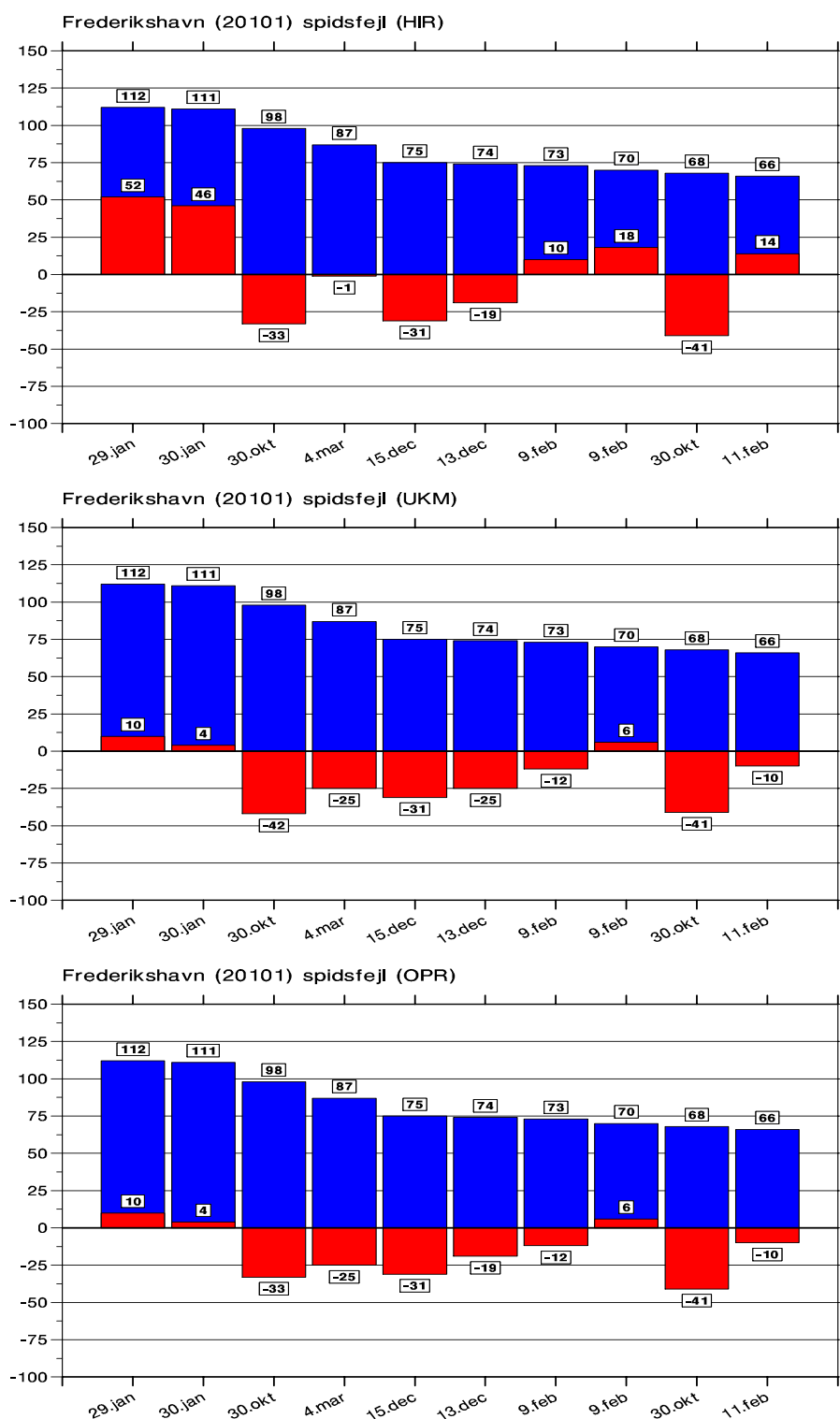
**Figur 4.** Esbjerg 10 højeste højvande og spidsfejl i prognosen, 2000. Positiv fejl betyder at prognosen var for høj. Øverst: Primær (HIR) opsætning. Midt: Backup (UKM) opsætning. Nederst: Operationel (OPR) opsætning.



**Figur 5.** Vidå Sluse 10 højeste højvande og spidsfejl i prognosen, 2000. Positiv fejl betyder at prognosen var for høj. Øverst: Primær (HIR) opsætning. Midt: Backup (UKM) opsætning. Nederst: Operationel (OPR) opsætning.

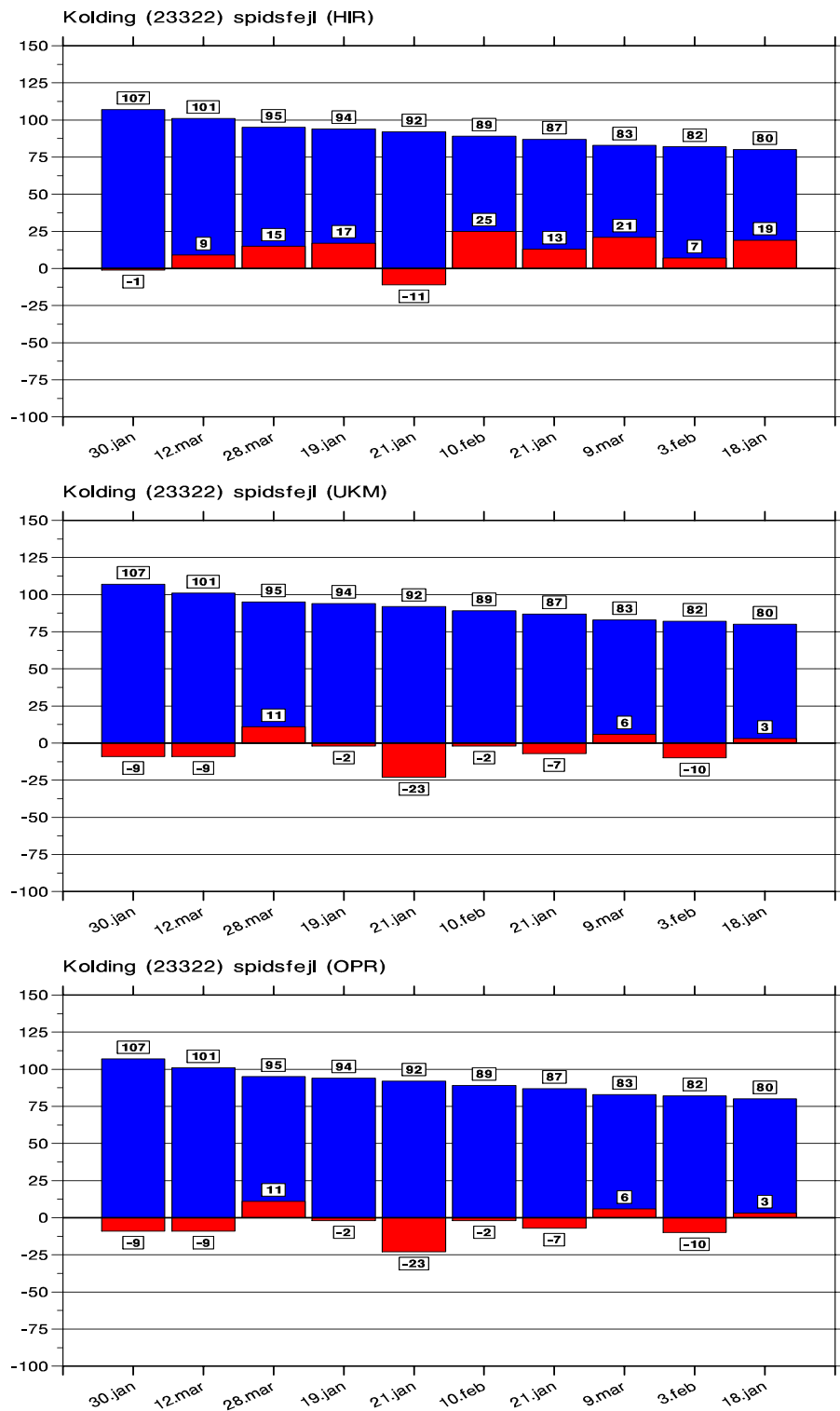


**Figur 6.** Torsminde, 10 højeste højvande og spidsfejl i prognosen, 2000. Positiv fejl betyder at prognosen var for høj. Øverst: Primær (HIR) opsætning. Midt: Backup (UKM) opsætning. Nederst: Operationel (OPR) opsætning.

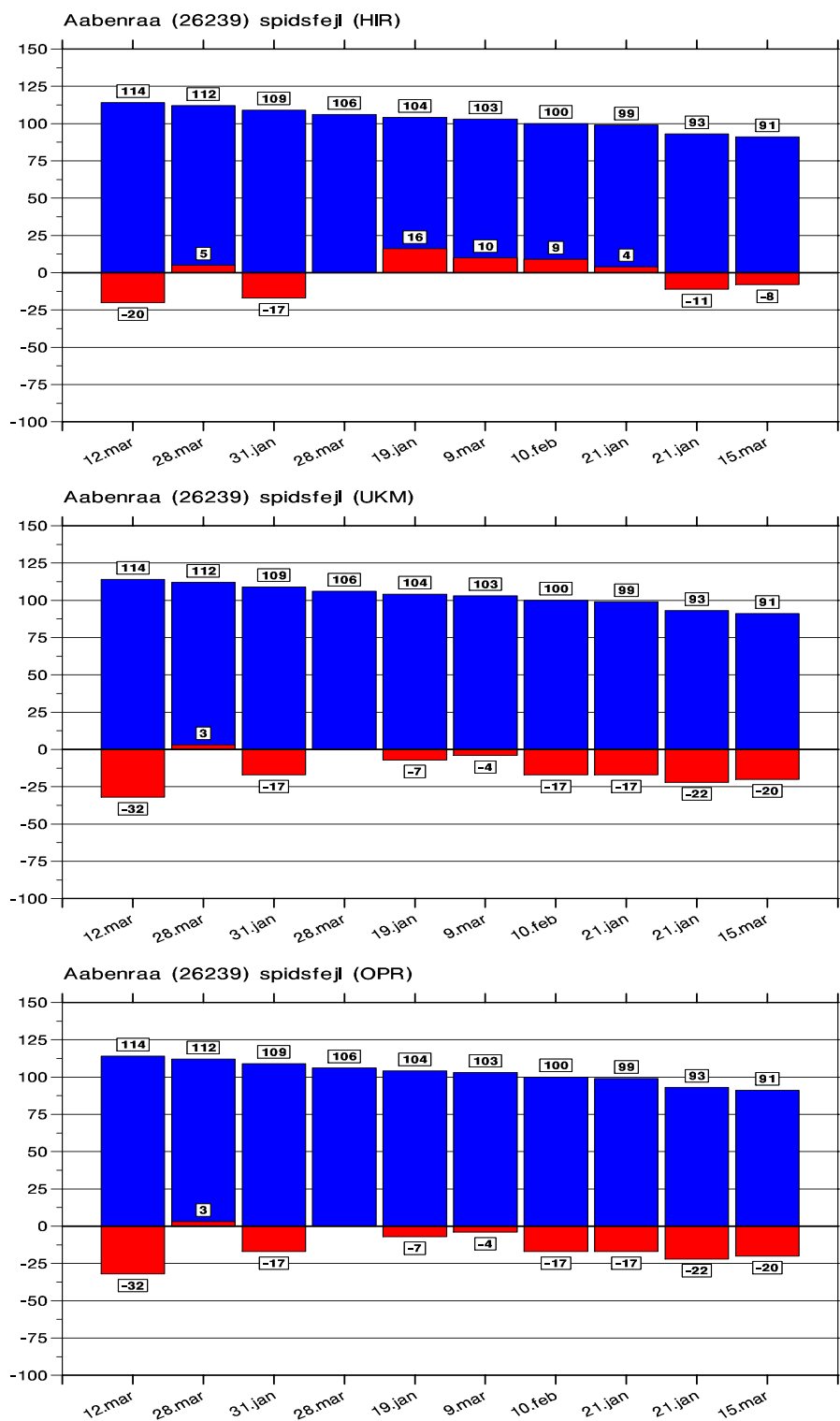


**Figur 7.** Frederikshavn 10 højeste højvande og spidsfejl i prognosen, 2000. Positiv fejl betyder at prognosen var for høj. Øverst: Primær (HIR) opsætning. Midt: Backup (UKM) opsætning. Nederst: Operationel (OPR) opsætning.

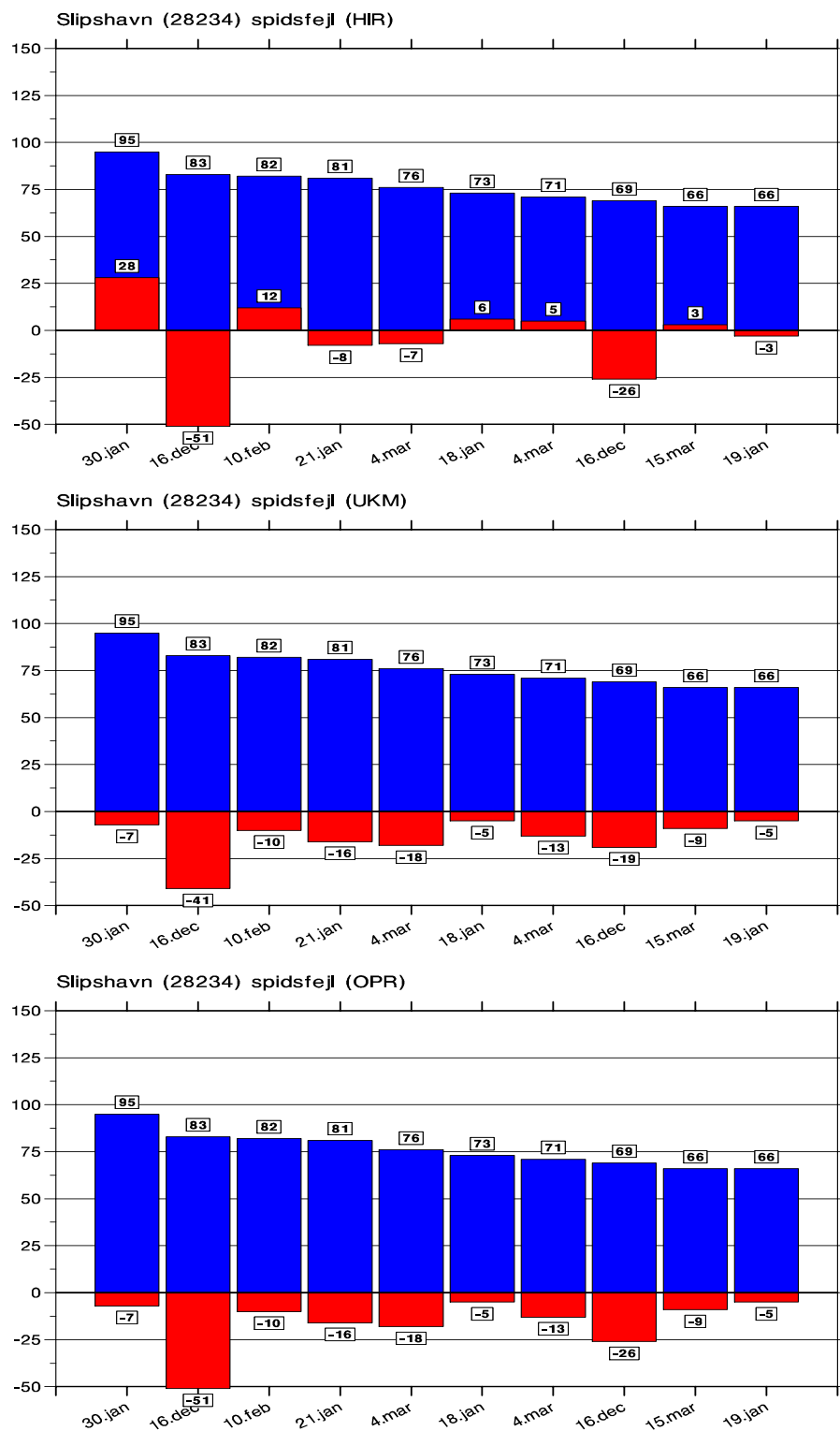




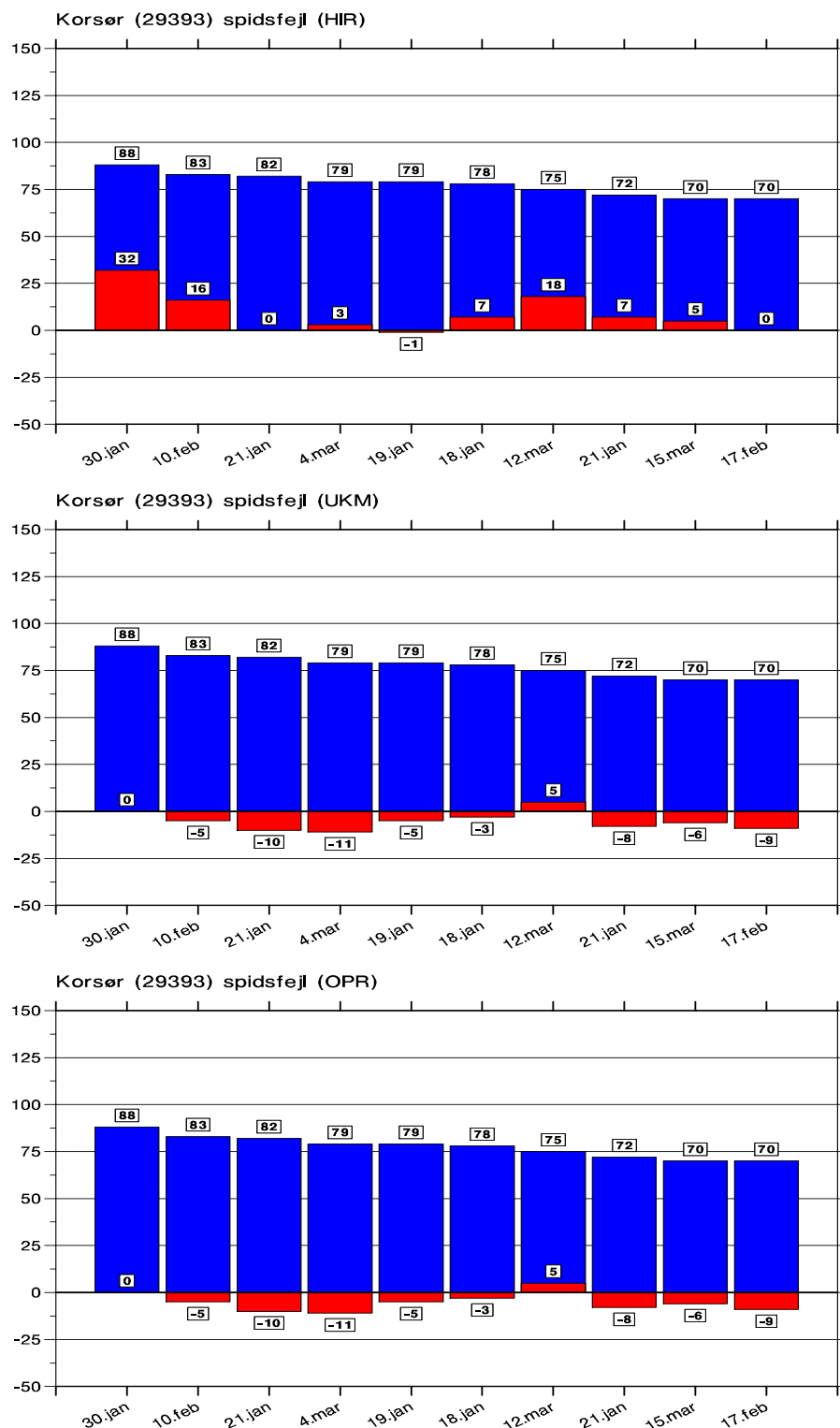
**Figur 8.** Kolding 10 højeste højvande og spidsfejl i prognosen, 2000. Positiv fejl betyder at prognosen var for høj. Øverst: Primær (HIR) opsætning. Midt: Backup (UKM) opsætning. Nederst: Operationel (OPR) opsætning.



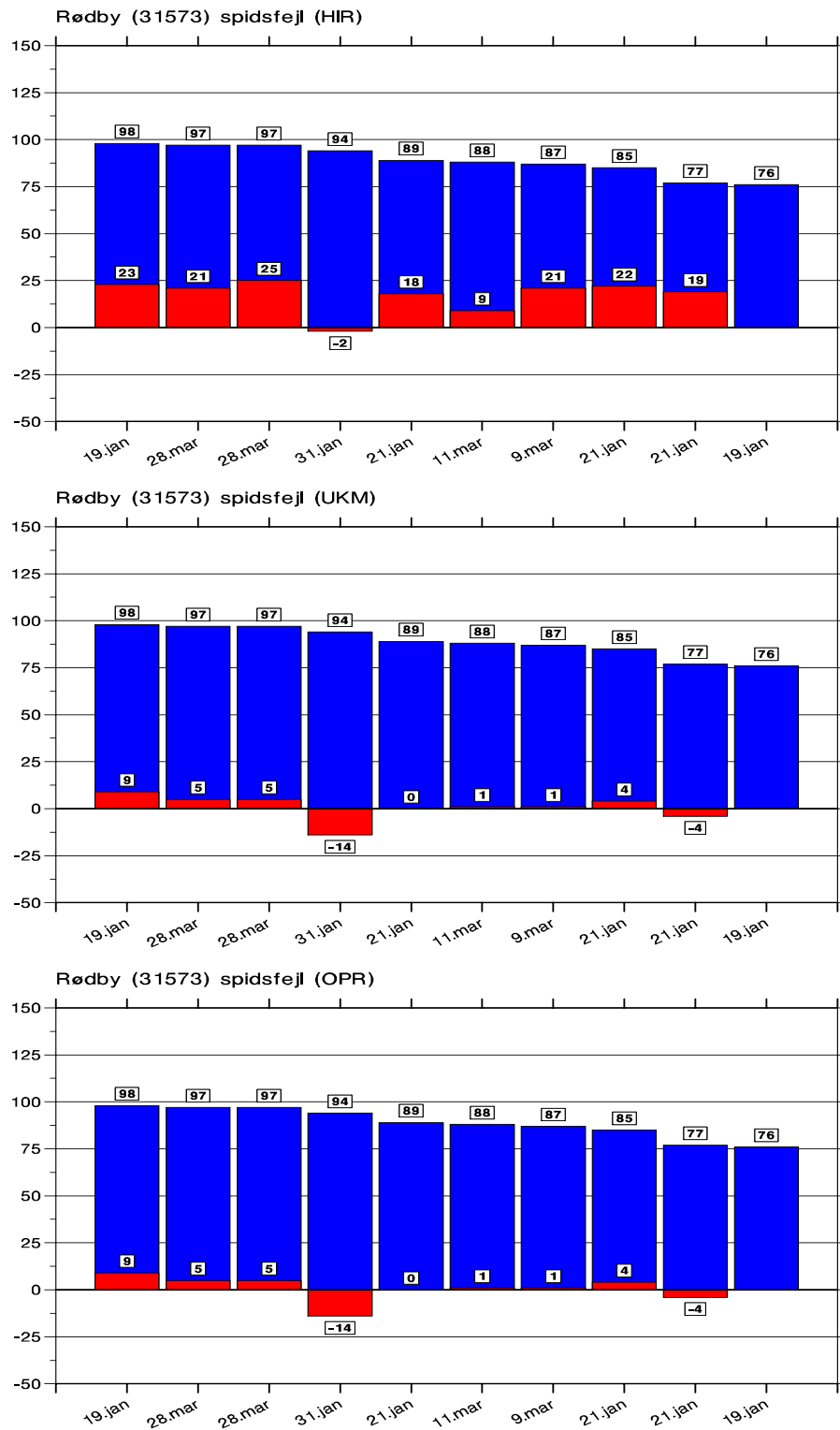
**Figur 9.** Aabenraa 10 højeste højvande og spidsfejl i prognosen, 2000. Positiv fejl betyder at prognosen var for høj. Øverst: Primær (HIR) opsætning. Midt: Backup (UKM) opsætning. Nederst: Operationel (OPR) opsætning. For højvandet 28. marts 2000 mangler prognosen.



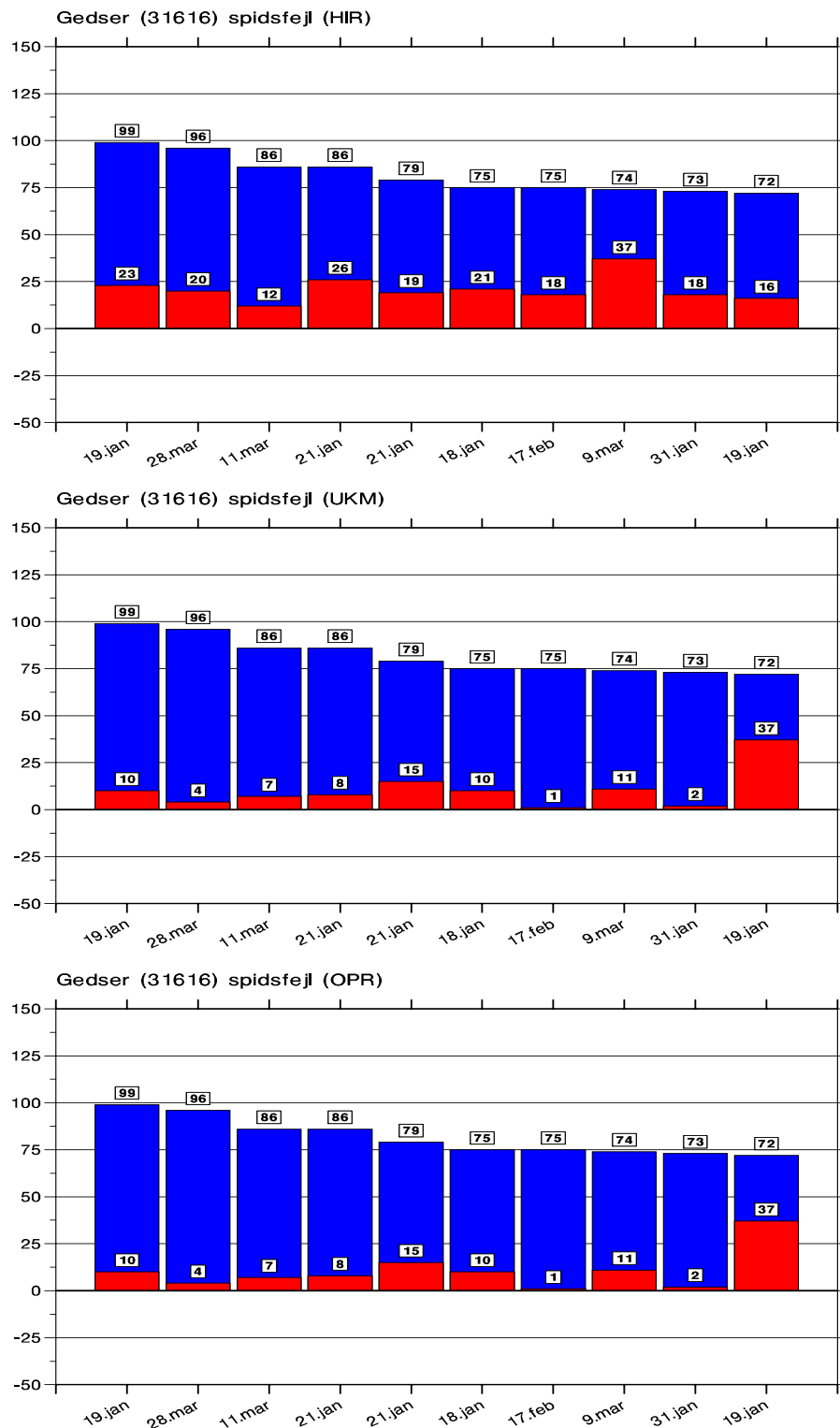
**Figur 10.** Slipshavn 10 højeste højvande og spidsfejl i prognosen, 2000. Positiv fejl betyder at prognosen var for høj. Øverst: Primær (HIR) opsætning. Midt: Backup (UKM) opsætning. Nederst: Operationel (OPR) opsætning.



**Figur 11.** Korsør 10 højeste højvande og spidsfejl i prognosen, 2000. Positiv fejl betyder at prognosen var for høj. Øverst: Primær (HIR) opsætning. Midt: Backup (UKM) opsætning. Nederst: Operationel (OPR) opsætning.



**Figur 12.** Rødby 10 højeste højvande og spidsfejl i prognosen, 2000. Positiv fejl betyder at prognosen var for høj. Øverst: Primær (HIR) opsætning. Midt: Backup (UKM) opsætning. Nederst: Operationel (OPR) opsætning. For højvandet 19. jan 2000 mangler prognosen.



**Figur 13.** Gedser 10 højeste højvande og spidsfejl i prognosen, 2000. Positiv fejl betyder at prognosen var for høj. Øverst: Primær (HIR) opsætning. Midt: Backup (UKM) opsætning. Nederst: Operationel (OPR) opsætning.

## 6 Sammenligning med forudgående år

Tidsudviklingen af en række nøgletal (1994-2000) er vist i Fig. 14. Bemærk at datagrundlaget ikke er fuldstændigt homogent fra år til år, på grund af at nye stationer løbende kommer til, manglende data m.v. Fig. 14 giver anledning til følgende kommentarer, hvor de enkelte opsætninger kun diskuteres hvor der er tale om væsentlige forskelle:

### *ME:*

Middel bias er øget til knap +5 cm. I tidligere år har middel bias ligget nogenlunde konstant mellem -2 cm og +2 cm. Nulpunktkorrektionen andrager i middel over alle stationer netop knap +5 cm (se Appendix C), og det er klart at disse værdier skal revideres for at fjerne denne bias.

### *AME:*

Middel absolut bias er øget til godt +5 cm, hvilket er standardniveauet for perioden 1995-98.

### *MAE og RMS:*

Middel absolut og rms fejl ligger på hhv. ca. 12 cm og ca. 15 cm. Der er en svagt stigende tendens i de senere år.

### *MAX:*

Maksimumsfejlen ligger ret konstant på 45-50 cm siden 1998. Bemærk at beregningsmetoden blev ændret i 1998.

### *EV:*

Den forklarede varians er uændret siden 1999, men ligger generelt noget lavere end de to foregående år. Det skyldes tilføjelse i 1999 af nye stationer i Bælthavsområdet, hvor faseforholdene gengives forholdsvis dårligt af modellen.

### *MPE:*

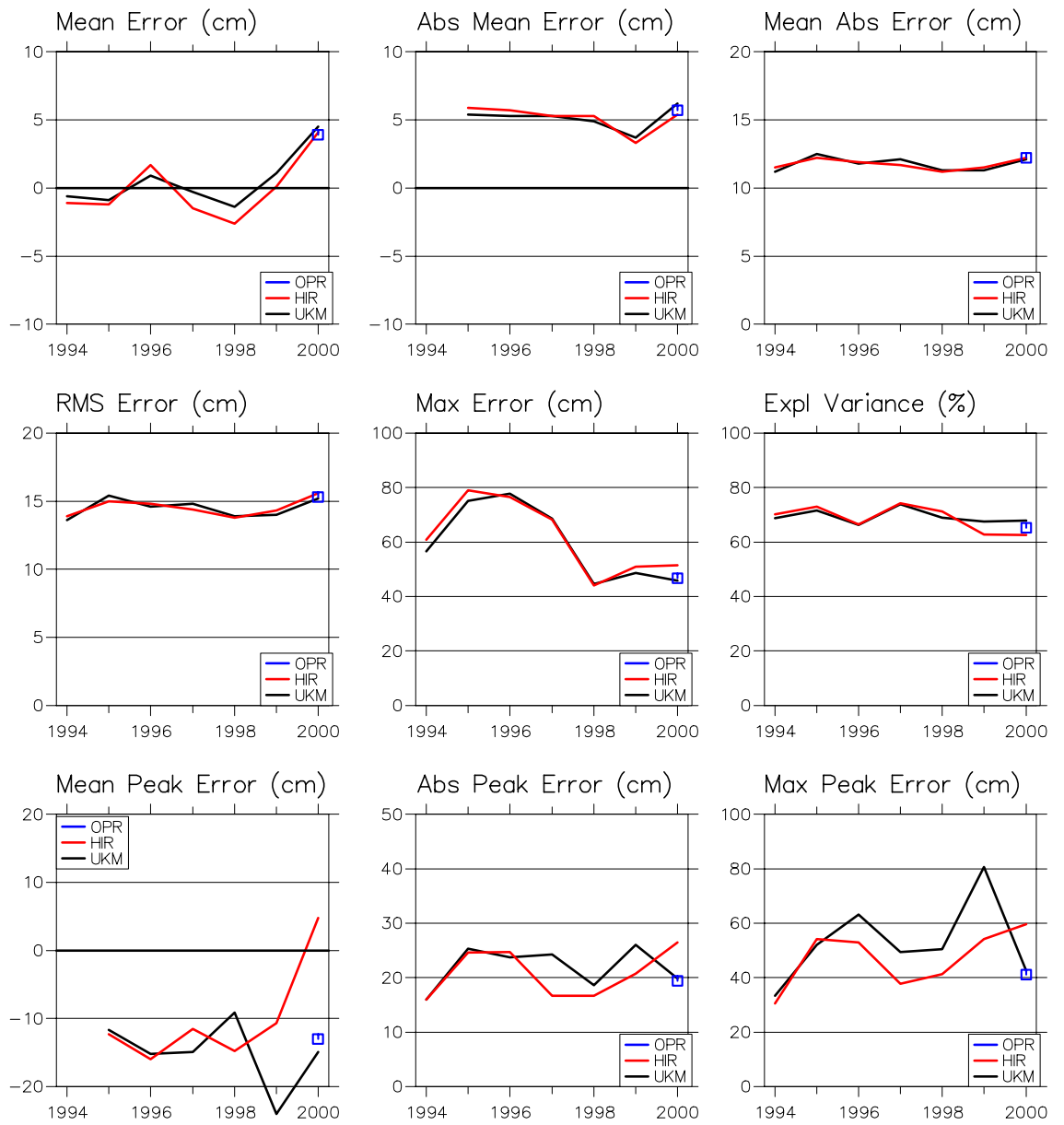
Mens UKM opsætningen siden 1995 har undervurderet ekstreme højvande, med stærkt varierende middel spidsfejl, har HIR opsætningens middel spidsfejl i 2000 skiftet fortegn fra negativ til positiv bias. Højvandsprognoserne beregnet med HIR opsætningen ligger i middel 15-20 cm højere end i forudgående år. OPR opsætningen har en noget mindre negativ middel spidsfejl end UKM opsætningen.

### *MAPE:*

Middel absolut spidsfejlen viser en stigende tendens for HIR opsætningen i det sidste par år. Det vil sige at reduktionen af den numeriske værdi af peak bias har ikke ført til bedre højvandsprognoser, tværtimod. UKM opsætningen har fra et dårligt år i 1999 nået tilbage til niveauet fra 1998. OPR opsætningen svarer nøje til UKM opsætningen.

### *MXPE:*

Den maksimale spidsfejl udviser i 2000 en stigende tendens for HIR opsætningen, mens UKM opsætningen fra et meget dårligt år i 1999 - i forbindelse med orkanen 3. december 1999 - er nået ned på et mere rimeligt fejlniveau igen. OPR opsætningen svarer til UKM opsætningen.



**Figur 14.** Nøgletal, 1994-2000.



## 7 Konklusion

Med denne rapport verificeres operationelle vandstandsprognoser for 2000. Prognoserne er beregnet med den hydrodynamiske model Mike21, drevet enten af DMIs vejrmødel Hirlam-E (HIR), eller af den engelske vejrmødel UK-lam (UKM), i to separate opsætninger. Prognoserne verificeres på årsbasis ved brug af observationer fra 36 danske kyststationer. Tre slusestationer i Vadehavet bliver kun brugt til verifikation af spidsfejl, dvs. fejl i prognoser for ekstreme højvande. Der beregnes fejlmål, midlet over tidsvinduet analyse+06 til analyse+18 timer. En eventuel afhængighed af prognoselængden undersøges således ikke. Prognoserne er nulpunktskorrigerede, men ikke ARIMA filtrerede. Siden medio oktober 2000 rettes prognosen op ved brug af astronomisk tidevand ved en række stationer.

Kvaliteten af de to opsætninger beskrives og sammenlignes. Endvidere sammenlignes med resultater for tidligere år. UKM opsætningen har været anvendt som primær opsætning i perioden januar-august 2000, herefter har HIR opsætningen været primær indtil medio oktober, og endelig har en revideret udgave af HIR opsætningen været primær resten af året. Kombinationen af UKM/HIR i disse perioder verificeres som en separat operationel opsætning (OPR). Begrundelsen for at skifte til UKM som primær opsætning var en systematisk positiv bias i Hirlams 10 meter vind (for stærk vind) hvilket førte til for høje vandstandsprognoser. En væsentlig ændring i den reviderede udgave er at Hirlams bundstress anvendes som forcering i stedet for 10m vinden. Herved fjernes inkonsistensen mellem den vindspænding der beregnes ved brug af Hirlams 10m vind, og Hirlams eget bundstress.

Vandstandsobservationerne er foretaget af flere forskellige institutioner. Indlysende målefejl (*spikes*) er fjernet, men der kan forekomme 'suspekter' data, fx ved at en målers nulpunkt langsomt flytter sig, en måler sander til o.a. Sådanne fejl er svære at opdage, men generelt er det forsøgt at rydde ud i data inden anvendelsen.

*Residualfejl:* Stormflodssystemet har i år 2000 fået en systematisk bias på ca. +5 cm. Da denne fejl findes i alle opsætninger, og da middelværdien af nulpunktskorrektionen, taget over alle stationer, er af samme størrelse, konkluderes at nulpunktskorrektionerne bør revideres. Bortset herfra er opsætningerne af nogenlunde samme kvalitet, og endvidere af næsten samme kvalitet som tidligere år. Dog har UKM opsætningen en 5%-point højere forklaret varians, og 5 cm lavere maximumsfejl, end HIR opsætningen. Den operationelle opsætning ligger midt imellem. Mens maximumsfejlen er øget for HIR opsætningen, af grunde skitseret ovenfor, er den reduceret for UKM opsætningen. Årsagen til dette er at 1999 var et meget dårligt år for UKM opsætningen hvad angår maximumsfejl, idet orkanen 3. december 1999 stort set ikke blev forudsagt.

*Spidsfejl:* UKM/OPR opsætningerne er langt bedre end HIR opsætningen. UKM prognoser for ekstreme højvande er blevet bedre end tidligere, dog stadig med en negativ bias, mens HIR prognoser for højvande er alt for høje i første halvår. Årsagen til det første er ukendt, mens faldet i kvaliteten af HIR højvandsprognoserne (de største spidsfejl ligger over +1 meter) skyldes problemer med Hirlams 10 m vind, som beskrevet ovenfor. Undersøgelse af de højeste højvande hhv. før og efter medio oktober indikerer at revisionen medio oktober har haft en positiv effekt. En undtagelse er Vestkyststationer fra Hvide Sande til Thyborøn, hvor ekstreme højvande som regel undervurderes. Dette skyldes modellens friktionsforhold i dette område, og vil blive udbedret inden vinteren 2001/02. Den operationelle opsætning, hvor UKM er primær i starten af året, har ført til bedre højvandsprognoser i Nordsøen end konsekvent anvendelse af en af de to 'basis'-opsætninger. Hermed er anvendelsen af OPR opsætningen retfærdiggjort.

## 8 Appendix A - datadækning

Station	Nummer	Mangler %
Skagen	20002	0.13
Hirtshals	20047	2.93
Frederikshavn	20101	0.02
Hals Barre	20252	23.79
Hanstholm	21009	0.06
Grenå	22121	0.54
Århus	22331	0.22
Juelsminde	23132	2.67
Fredericia	23293	3.33
Kolding	23322	0.22
Thyborøn	24006	0.63
Ferring	24018	3.72
Torsminde	24122	2.16
Hvide Sande	24342	1.72
Esbjerg	25149	3.18
Ribe Sluse	25343	3.93
Havneby	26136	2.69
Åbenrå	26239	0.10
Ballum Sluse	26346	3.18
Vidå Sluse	26359	0.05
Fynshav	26457	0.03
Ballen	27084	0.37
Slipshavn	28233	0.11
Spodsbjerg	28582	0.20
Odden	29002	0.65
Korsør	29393	0.57
Hornbæk	30017	0.78
København	30336	1.68
Nordre Røse	30346	11.98
Drogden Fyr	30357	3.34
Rødvig	31063	0.44
Hesnæs	31493	0.49
Rødby	31573	0.22
Gedser	31616	0.04
Tejn	32048	0.05
Rønne	32096	1.88
Middel		2.3

**Tabel 14.** Manglende data (%) ved verifikationsstationerne, 2000.

## 9 Appendix B - ekstremvandstand

Station	Vandstand (cm)		Returperiode (år)	
	Lavest	Højest	DMI	KI
Skagen	-67	121	-	18.1
Hirtshals	-74	133	28.3	16.9
Frederikshavn	-68	112	3.2	3.1
Hanstholm	-97	137	3.6	3.9
Hals Barre	-66	89	-	-
Grenå	-59	127	-	3.8
Århus	-81	130	7.2	8.8
Juelsminde	-80	117	-	-
Kolding	-78	107	-	0.5
Fredericia	-75	92	1.5	<2.8
Thyborøn	-95	247	19.3	-
Ferring	-93	246	-	-
Torsminde	-93	(272) 251	41.7	(11.5) 5.6
Hvide Sande	-104	(286) 309	644.7	(13.6) 32.9
Esbjerg	-175	299	4.6	< 6.1
Ribe K.sluse	-148	342	3.0	< 4.6
Havneby	-196	323	2.4	2.9
Aabenraa	-99	114	-	1.5
Ballum Sluse	-11	327	2.3	< 3.6
Vidå Slusen	-82	345	3.0	2.9
Fynshav	-106	88	1.0	< 0.5
Ballen	-59	125	-	-
Slipshavn	-76	95	1.8	<2.5
Spodsbjerg	-83	101	-	-
Odden	-39	133	-	-
Korsør	-61	88	1.6	<2.5
Hornbæk	-64	141	6.1	8.2
København	-58	112	3.8	3.6
Nordre Røse	-46	107	-	-
Drogden	-92	85	-	-
Rødvig	-118	86	-	-
Hesnæs	-119	107	-	-
Rødby	-114	98	1.3	<1.0
Gedser	-98	99	1.4	<1.1
Tejn	-36	84	2.6	-
Rønne	-64	78	-	1.7

**Table 15.** Ekstrem vandstand (cm) og estimeret returperiode for højeste vandstand, 2000. DMI estimeret er baseret på en Gumbelfordeling af årlige maksima, KDI estimeret på en Weibullfordeling og en 'peak over threshold' (POT) metode. "–": returperiode ikke beregnet. "<": returperiode under den angivne værdi. De kraftigt afvigende værdier i Hirtshals, Torsminde og Hvide Sande) skyldes DMIs meget begrænsede datasæt ved disse stationer. Der må her fæstes større lid til KDI estimeret. I Thyborøn er KDIs analyse baseret på havnemåleren som er placeret for beskyttet til at kunne anvendes her. I Hvide Sande og Torsminde gælder det kursiverede resultat for havnemåleren.

## 10 Appendix C - nulpunktskorrektioner

Station	DKSS98	Revid.
Skagen	-18	-12.4
Hirtshals	-18	-1.7
Frederikshavn	-11	-3.8
Hals Barre	-	-
Hanstholm	-7	-10.2
Grenå	2	6.1
Århus	3	1.0
Juelsminde	-	2.0
Fredericia	9	4.3
Kolding *)	25	21.5
Thyborøn	0	-1.5
Ferring	1	-2.3
Torsminde	3	0.9
Hvide Sande	9	-5.2
Esbjerg	5	-6.1
Ribe Sluse	-1	17.3
Havneby	5	-8.7
Aabenraa	17	6.8
Ballum Sluse	-	12.0
Vidå Sluse	18	14.0
Fynshav	19	2.5
Ballen	3	4.8
Slipshavn	3	-2.2
Spodsbjerg	0	-0.4
Odden	-1	9.7
Korsør	13	12.8
Hornbæk	4	0.2
København	-3	-3.5
Nordre Røse	17	15.0
Drogden	8	11.8
Rødvig	12	11.6
Hesnæs	14	17.0
Rødby	16	18.8
Gedser	16	4.5
Tejn	8	12.3
Rønne	3	2.5
Middel	+4.8	+4.1

**Tabel 16.** Nulpunktskorrektion (bias) i cm. DKSS98: middelfejl af 1998 hindcasts, Revid.: samme for den reviderede opsætning, dvs siden medio oktober 2000. ”-”: ingen korrektion. Tabelværdien adderes til den tidevandsoprettede vandstandsprognose. For de kursiverede værdier adderes i stedet til den rå vandstandsprognose. Der anvendes samme nulpunktskorrektion for HIR og UKM opsætningerne.

## Litteratur

- [1] DHI. *MIKE 21. User Guide and Reference Manual, Release 2.7*. Dansk Hydraulisk Institut, Hørsholm, Danmark, 1998.
- [2] DMI. *Danmarks klima 2000*. 2001.
- [3] Kystdirektoratet. *Højvandsstatistikker 1997*, 1997.
- [4] Marineobservatorium. *Karten der Harmonischen Gezeitenkonstanten für das Gebiet der Nordsee*. Oberkommando der Kriegsmarine, Marineobservatorium Wilhelmshaven, Germany, 1942.
- [5] Jacob Woge Nielsen. Verification of Sea Level Forecast: 1997. Technical Report 98-5, Danmarks Meteorologiske Institut, 1998.
- [6] Jacob Woge Nielsen. Verification of Sea Level Forecast: 1998. Technical Report 99-23, Danmarks Meteorologiske Institut, 1999.
- [7] Jacob Woge Nielsen. DMIs operationelle stormflodsvarslingsystem. version 2.0. Technical Report 01-02, Danmarks Meteorologiske Institut, 2001.
- [8] Jacob Woge Nielsen, Karsten Bolding, and Lonny Hansen. Extreme sea level highs: A statistical tide gauge data study. Technical Report 96-3, Danmarks Meteorologiske Institut, 1996.
- [9] Mads Hvid Nielsen. Mike 21 kalibrering 1998-99. Technical Report 99-22, Danmarks Meteorologiske Institut, 1999.
- [10] Hydrographer of the Navy. *Admiralty Tide Tables 1999*, 1999.
- [11] Mads Hvid Nielsen og Jacob Woge Nielsen. Stormflodsrapport: Højvandet den 19.-20. november 1999. Technical Report 00-19, Danmarks Meteorologiske Institut, 2000.
- [12] Jacob Woge Nielsen og Karsten Bolding. Verification of Sea Level Forecasts: October 1993 – March 1994. Technical Report 94-11, Danmarks Meteorologiske Institut, 1994.
- [13] Jacob Woge Nielsen og Karsten Bolding. Verification of Sea Level Forecast: 1994. Technical Report 95-4, Danmarks Meteorologiske Institut, 1995.
- [14] Jacob Woge Nielsen og Karsten Bolding. Verification of Sea Level Forecasts: October 1994 – March 1995. Technical Report 95-9, Danmarks Meteorologiske Institut, 1995.
- [15] Jacob Woge Nielsen og Karsten Bolding. Verification of Sea Level Forecasts: 1995. Technical Report 96-2, Danmarks Meteorologiske Institut, 1996.
- [16] Jacob Woge Nielsen og Karsten Bolding. Stormflodsrapport: Højvandet den 29. og 30. oktober 1995. Technical Report 97-2, Danmarks Meteorologiske Institut, 1997.
- [17] Jacob Woge Nielsen og Karsten Bolding. Stormflodsrapport: Højvandet den 6. og 7. november 1995. Technical Report 97-6, Danmarks Meteorologiske Institut, 1997.
- [18] Jacob Woge Nielsen og Karsten Bolding. Verification of Sea Level Forecasts: 1996. Technical Report 97-1, Danmarks Meteorologiske Institut, 1997.
- [19] Jacob Woge Nielsen og Mads Hvid Nielsen. Verifikation af vandstandsprognoser: 1999. Technical Report 00-25, Danmarks Meteorologiske Institut, 2000.

- [20] Bent Hansen Sass, Niels Woetmann Nielsen, Jess U. Jørgensen, Bjarne Amstrup, and Maryanne Kmit. The operational DMI-HIRLAM system. Teknisk Rapport 00-26, DMI, København, Danmark, 2000.
- [21] Hans Jacob Vested, Henrik Rene Jensen, Helmer Petersen, Anne Mette Jørgensen, and Bennert Machenhauer. An operational hydrographic warning system for the North Sea and the Danish Belts. *Continental Shelf Research*, 12(1):65–81, July 1992.

## Tabeller

1	Vandstandsstationer . . . . .	8
2	Overskridelser af varslingskriteriet . . . . .	10
3	Hyppighedsfordeling af fejlmål samt nøgletal. . . . .	15
4	Succesrater . . . . .	17
5	Middelfejl . . . . .	18
6	Middel absolut fejl . . . . .	19
7	Middel RMS fejl . . . . .	20
8	Middel maksimal fejl . . . . .	21
9	Forklaret varians . . . . .	22
10	Middel spidsfejl . . . . .	23
11	Middel absolut spidsfejl . . . . .	24
12	Maksimal spidsfejl . . . . .	25
13	Antal forudsagte maksima . . . . .	26
14	Datadækning . . . . .	40
15	Ekstremvandstand. . . . .	41
16	Nulpunktskorrektioner . . . . .	42

## Figurer

1	Modelområde . . . . .	5
2	Vandstandsmålere . . . . .	7
3	Residual og spidsfejl . . . . .	12
4	Esbjerg top 10 højvande . . . . .	27
5	Vidå Sluse top 10 højvande . . . . .	28
6	Torsminde top 10 højvande . . . . .	29
7	Frederikshavn top 10 højvande . . . . .	30
8	Kolding top 10 højvande . . . . .	31
9	Aabenraa top 10 højvande . . . . .	32
10	Slipshavn top 10 højvande . . . . .	33
11	Korsør top 10 højvande . . . . .	34
12	Rødby top 10 højvande . . . . .	35
13	Gedser top 10 højvande . . . . .	36
14	Nøgletal . . . . .	38